

**Schriftenreihe  
Reaktorsicherheit und Strahlenschutz**

**Ergebnisberichte  
Untersuchungen, Studien, Gutachten**

# **Untersuchungen zur Regelfähigkeit von brandschutztechnischen Nachweisen im Rahmen von KTA 2101.2**

**von  
D. Hosser  
G. Blume  
W. Siegfried  
J. Will**

**Der Bundesminister für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit**



## IMPRESSUM

---

Dieses Heft enthält einen Arbeitsbericht über ein vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördertes Vorhaben.

Verantwortlich für den Inhalt dieses Berichtes sind die Autoren.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit übernimmt keine Gewähr insbesondere für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie der Beachtung privater Rechte Dritter.

### VERKAUFSPREIS:

DM 20,30 incl. MwSt., zuzügl. Versandkosten

### VERTRIEB:

Dieser Bericht sowie alle anderen in der Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz erschienenen Veröffentlichungen (siehe Gesamtübersicht am Ende dieses Berichtes) sind erhältlich über



Werbeagentur + Vertriebsservice  
Günther R. Merkel  
Jahnstraße 24  
69221 Dossenheim  
Tel. und Fax: 0 62 21 / 86 39 63

oder bei einer Buchhandlung.

Printed in the Federal Republic of Germany.

ISSN 0724-3316

**Untersuchungen zur Regeifähigkeit von brandschutztechnischen  
Nachweisen im Rahmen von KTA 2101.2**

**Februar 1996**

**D. Hosser  
G. Blume  
W. Siegfried  
J. Will**

Diesen Bericht hat das Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz IBMB der TU Braunschweig im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen des Vorhabens SR 2063 erstellt.  
Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muß nicht mit der des BMU übereinstimmen.

Der BMU behält sich alle Rechte an der weiteren Nutzung oder Vervielfältigung des Berichtes vor.

## INHALT

	Seite
1     Anlaß und Aufgabenstellung	4
1.1   Anlaß	4
1.2   Aufgabenstellung	5
1.3   Verwendete Unterlagen	7
2     Berechnungsgrundlagen	8
2.1   Raumgeometrie	8
2.2   Ventilation	9
2.3   Brandlasten	10
2.4   Thermische Stoffwerte der Umfassungsbauteile	11
3     Überprüfung der Abbrandmodelle	12
3.1   Grundlagen	12
3.2   Abbrandverhalten von Öl	15
3.2.1   Brandszenarium	15
3.2.2   Abbrandrate	15
3.3   Abbrandverhalten von Kabeln	15
3.3.1   Brandversuche in SR 144/1	15
3.3.2   HDR-Brandversuche	16
3.3.3   Kabelbrandversuche im iBMB	18
3.3.4   Kabelbrandmodell	19
3.3.5   Abbrandrate	22
4     Durchführung von Brandsimulationsrechnungen	23
4.1   Rechenmodell	23
4.2   Berechnung von lokal begrenzten Öl- und Kabelbränden	24
4.3   Untersuchung systematischer Einflüsse	28
4.3.1   Überblick	28
4.3.2   Natürliche Ventilation	28

4.3.4	Raumhöhe	31
4.4	Berechnung von großflächigen Bränden	33
5	Wertung und Empfehlungen	38
5.1	Wertung der durchgeführten Simulationsrechnungen	38
5.2	Einfluß unterschiedlicher Brandlasten	40
5.3	Verifikation anhand von Großversuchen	42
6	Vereinfachtes brandschutztechnisches Nachweisverfahren	44
6.1	Nachweiskonzept	44
6.2	Berücksichtigung von Wärmesenken	50
6.2.1	Ausgangssituation und Vorgehensweise	50
6.2.2	Besonderheit bei Flüssigkeitsbehältern	54
6.2.3	Wertung	55
6.3	Probabilistisches Sicherheitskonzept	56
6.3.1	Ausgangssituation und Vorgehensweise	56
6.3.2	Brandeintrittshäufigkeiten in Kernkraftwerken	57
6.3.3	Zuverlässigkeit aktiver Brandschutzmaßnahmen	57
6.3.4	Wertung	59
7	Zusammenfassung	61
8	Symbolverzeichnis	63
9	Literatur	65

#### Anlage 1 Zusammenfassender Bericht über Kabelbrandversuche im iBMB

## 1 ANLASS UND AUFGABENSTELLUNG

### 1.1 Anlaß

Im Auftrag des BMU wurde im August 1990 von Prof. Dr.-Ing. D. Hosser der Bericht „Weiterentwicklung eines vereinfachten Nachweisverfahrens für die Bauteilauslegung im Rahmen der Erarbeitung der Regel KTA 2101.2“ /1/ vorgelegt. Er stellte die Fortschreibung eines ebenfalls im Auftrag des BMU erarbeiteten Berichtes „Rechnerische Nachweise für Brandschutzmaßnahmen“ /2/ vom August 1987 dar.

Beide Berichte hatten zum Ziel, Grundlagen für ein vereinfachtes rechnerisches Nachweisverfahren zur brandschutztechnischen Bemessung von Bauteilen in Kernkraftwerksgebäuden zu schaffen. Das Nachweisverfahren soll geeignet sein, die erforderliche Feuerwiderstandsdauer von bautechnischen Brandschutzmaßnahmen unter den häufig vorkommenden brandschutztechnischen Randbedingungen mit vertretbarem Aufwand in einer für praktische Belange ausreichenden Genauigkeit zu bestimmen. Wenn diese Voraussetzungen erfüllt werden, soll das Nachweisverfahren in einem Anhang zu KTA 2101.2 dokumentiert und für die individuelle, risikogerechte Festlegung brandschutztechnischer Anforderungen an bautechnische Brandschutzmaßnahmen empfohlen werden.

Der KTA-Arbeitskreis „Grundlagen, KTA 2101.2 - Brandschutz an baulichen Anlagen in Kernkraftwerken“ befaßte sich ausführlich mit dem Bericht /1/, um zu klären, ob die Unterlage

- noch offene Punkte bezüglich des Brandmodells, der Brandannahmen, der Bemessungshilfen etc. aufweist,
- in jetziger Form in KTA 2101.2 als Regeltext oder als Anhang eingearbeitet werden kann.

Entsprechend dem BMU-Auftrag war der Bericht nicht zur direkten Verwendung als Regeltext oder Anhang zur KTA-Regel konzipiert, sondern zur Aufbereitung von Grundlagen und zur Erprobung von möglichen Bemessungshilfen. Insofern mußte die zweite Frage vorab verneint werden.

Hinsichtlich der ersten Frage wurde festgestellt, daß die Grundlagen zur Bestimmung von äquivalenten Branddauern unter Berücksichtigung der bis zu diesem Zeitpunkt verfügbaren Versuchsergebnisse - einschließlich der HDR-Ölbrandversuche - aufbereitet und in dem Bericht dargestellt wurden. Bei den Kabelbränden mußten jedoch zunächst die Abbrandmodelle aus dem ersten Bericht /2/ beibehalten werden, da neue, großmaßstäbliche Brandversuche am HDR erst für 1992 vorgesehen waren. Deshalb standen die Berechnungsergebnisse für Kabelbrände unter dem Vorbehalt der notwendigen experimentellen Überprüfung; sie sollten jedoch die Tendenz der gegenüber /2/ zu erwartenden Änderungen aufzeigen.

Weiterhin befaßte sich der KTA-Arbeitskreis mit den Vorgaben der Brandlasten und diskutierte unter anderem auch die Bedeutung von Mischbränden (Feststoff- und Flüssigkeitsbrände gleichzeitig), die nach Ansicht von Mitgliedern des KTA-AK in KKW durchaus vorkommen können. Für die weiteren Untersuchungen wollten Vertreter der Hersteller und Betreiber im Arbeitskreis klären, welche Brandlasten zugrunde zu legen sind.

Auch die Annahmen zu den Lüftungsverhältnissen in Kernkraftwerksräumen sollten überprüft und ggf. realistischer eingegrenzt werden. Für die Berechnungen in /1, 2/ wurden die Verhältnisse zugrunde gelegt, die bei der Studie SR144/1 für die brandschutztechnisch relevanten Räume ermittelt wurden. Für weitere Untersuchungen sollten von den Vertretern der Hersteller- und Betreiberseite die Lüftungsverhältnisse in bestehenden Kernkraftwerken zusammengestellt werden, damit diese in den Bemessungshilfen abgedeckt werden können.

## **1.2 Aufgabenstellung**

Da sich die Durchführung und Auswertung der HDR-Ölbrandversuche verzögerte und somit keine neuen Erkenntnisse zu Kabelbränden vorlagen, konnte die vom o. g.-Arbeitskreis einvernehmlich empfohlene Fortsetzung der Untersuchungen zur Erarbeitung eines vereinfachten Nachweisverfahrens erst im Frühjahr 1994 dem BMU angeboten und schließlich über die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mit Vertrag vom 09.05.1994 beauftragt werden.

Im einzelnen sollten folgende Untersuchungen durchgeführt werden:

- Neuerliche Auswertung von Brandversuchen (SR 144/1 und HDR) mit Öl- und Kabelbrandlasten und Überprüfung und ggf. Verbesserung der daraus abgeleiteten Rechenannahmen zum Abbrandverhalten.
- Erarbeitung von Prüfkriterien für eine realistische und reproduzierbare experimentelle Ermittlung von Abbrandfunktionen für Kabelbrandlasten mit und ohne Schutzmaßnahmen in Form von Dämmschichtbildner o. ä.. Die Kriterien sollten bei Kabelbrandversuchen im Rahmen eines Parallelvorhabens erprobt und verifiziert werden.
- Erarbeitung von Kriterien für die Übertragung der Rechenannahmen für Ölbrandlasten und Kabelbrandlasten auf andere brennbare Feststoffe und Flüssigkeiten.
- Durchführung von Serienrechnungen für Öl- und Kabelbrände mit einem durch erfolgreiche Nachrechnung zahlreicher Großbrandversuche bestätigten Wärmebilanzmodell unter Variation von Brandlasten und Ventilationsverhältnissen in den vom KTA-Arbeitskreis vorzugebenden Bandbreiten.
- Erarbeitung von Bemessungsdiagrammen zur Bestimmung der äquivalenten Normbranddauer  $t_g$  in Abhängigkeit der bezogenen Brandbelastung und der Ventilation (in anlagentypischen Bandbreiten).
- Dokumentation der Nachweisschritte als Basis für die Erarbeitung eines entsprechenden Regeltextes zum vereinfachten brandschutztechnischen Nachweisverfahren durch den KTA-Arbeitskreis "Grundlagen, KTA 2101.2."
- Zusammenfassung der wesentlichen Grundlagen für eine Erläuterung zum Regeltext.

In die Erarbeitung realistischer Rechenannahmen sollten die in deutschen Kernkraftwerken vorzufindenden Brandlasten und Anordnungen sowie Raumgeometrien und Ventilationsverhältnisse durch Zuarbeit von Anlagenherstellern und -betreibern sowie beratende Mitwirkung der GRS einfließen.



Die neuen Erkenntnisse zu dem vereinfachten Nachweisverfahren sollen dem zuständigen KTA-Arbeitskreis „Grundlagen“ vorgelegt werden, der darauf aufbauend den geplanten Anhang zu KTA 2101.2 sowie die Erläuterungen zur Anwendung erstellen wird.

### 1.3 Verwendete Unterlagen

Wesentliche Voraussetzungen für die Untersuchungen waren nach Abschnitt 1.2

- 1) die Auswertung der Öl- und Kabelbrandversuche am HDR,
- 2) Angaben über die Art, Menge und Anordnung von Brandlasten in KKW,
- 3) Angaben über die tatsächlichen Ventilationsverhältnisse in KKW.

- Zu Punkt 1) wurden folgende PHDR-Arbeitsberichte verwendet:

- /3/ HDR-Sicherheitsprogramm, Teilprojekt 4: Brandversuche am HDR, Großer Ölbrand, Versuche E41.1-4. PHDR-Arbeitsbericht Nr. 40.007/89, Dezember 1989
- /4/ HDR-Sicherheitsprogramm: Kabelbrand in einer Mehrraumanordnung im Containment. PHDR-Arbeitsbericht Nr. 40.092/1992, Techn. Fachbericht PHDR 107-93, 1993

Weiterhin herangezogen wird die Studie SR 144/1:

- /5/ Dobbernack, R., Wesche, J.: Experimentelle Grundlagenuntersuchungen zur Optimierung von Brandschutzmaßnahmen und Qualitätskontrollen in Kernkraftwerken. In: GRS-Abschlußbericht zum BMI-Vorhaben SR 144/1, Fachband 2, 1986.

sowie eine zusammenfassende Darstellung der neueren Kabelbrandversuche des iBMB:

/6/ Will, J., Hosser, D.: Brandversuche an Kabeltrassen. Braunschweiger Brandschutz-Tage '95. Schriftenreihe des Institutes für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), TU Braunschweig,, Heft 115, Braunschweig 1995

mit den zugehörigen Untersuchungsberichten /7, 8, 9/ (siehe Abschnitt 9).

Den Angaben zu den tatsächlichen Brandlasten und Lüftungsverhältnissen in Kernkraftwerken liegen folgende Unterlagen zugrunde:

/U1/ Siemens AG, Erlangen: Häufigkeitsverteilungen der Brandlasten in zwei älteren Anlagen. Telefax vom 20.12.1994

/U2/ RWE Energie AG, Essen: Randbedingungen für Brandausbreitungsrechnungen. Schreiben vom 13.02.1995 sowie Telefax vom 21.02.1995

Die Unterlagen /U1/ und /U2/, die diesem Bericht als Arbeitsgrundlage dienen, gelten für ausgewählte Anlagen und sind nicht notwendigerweise repräsentativ bzw. allgemeingültig.

Weiterhin wird die Literatur verwendet, die in diesem Bericht zitiert und in Abschnitt 9 zusammengestellt ist.

## 2 BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 2.1 Raumgeometrie

Aus /U2/ geht hervor, daß die Grundfläche der Räume zwischen 9 m<sup>2</sup> und 450 m<sup>2</sup> schwankt. Stellvertretend werden in den Berechnungen folgende Grundflächen berücksichtigt:

$$A_1 = 150 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 250 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 450 \text{ m}^2.$$

Die Räume werden zur Verfeinerung der Kontrollvolumina für die Berechnungen in mindestens drei und maximal neun Segmente unterteilt, deren Abmessungen zum Teil identisch (Abschnitt 4.2) und zum Teil unterschiedlich (Abschnitt 4.4) gewählt werden. Der Brandherd wird jeweils im mittleren Segment angenommen, so daß eine Brandausbreitung in zwei entgegengesetzte Richtungen möglich ist.

Zu den aufgeführten Grundflächen werden unterschiedliche Raumhöhen betrachtet, und zwar

$H_1 = 2,5 \text{ m}$  und

$H_2 = 5,0 \text{ m}$ .

Nach /U2/ ist damit die Mehrzahl der Raumhöhen in Kraftwerksgebäuden abgedeckt. Räume mit extremen großer Höhe - in einem Fall sind 11,6 m genannt - sollten gesondert untersucht werden; sie sind untypisch und werden daher bei den Parameterrechnungen (und im vereinfachten Nachweisverfahren) nicht erfaßt.

## 2.2 Ventilation

Nach den vorliegenden Erfahrungen und Unterlagen wird davon ausgegangen, daß im Schnitt pro  $50 \text{ m}^2$  Grundfläche eine einflügelige Tür vorhanden ist. Trotz der Aussage in /U2/, daß die Türen planmäßig geschlossen oder mit einer Feststellanlage ausgerüstet sind und im Brandfall automatisch geschlossen werden, wird in den Berechnungen ein gewisser Teil der Türfläche als Leckageöffnung angesetzt:

$A_v = 1,3 \text{ m}^2$  (pro  $50 \text{ m}^2$  Raumsegment).

Hierdurch soll berücksichtigt werden, daß einerseits gewisse Undichtigkeiten im Bereich von Türen, Wanddurchführungen usw. unvermeidlich sind und andererseits eine Tür teilweise geöffnet oder durch Brandwirkung verzogen sein kann.

Die Abmessungen der Leckageöffnung werden zum Teil entsprechend der Raumhöhe abgestuft:

$h \times b = 2,0 \times 0,65 \text{ m}$       bei 2,5 m Raumhöhe  
 $h \times b = 3,0 \times 0,45 \text{ m}$       bei 5,0 m Raumhöhe.

Planmäßig werden die Räume maschinell belüftet. Aus /U2/ wurde der maschinell zu- und abgeführte Luftvolumenstrom in den angegebenen Räumen entnommen und in Bild 2.1 über der Grundfläche aufgetragen. Demnach lassen sich die Ventilationsverhältnisse grob in zwei Kategorien mit  $1000 \text{ m}^3/\text{h}$  bzw.  $2000 \text{ m}^3/\text{h}$  je  $50 \text{ m}^2$  einteilen (eingezeichnete Geraden in Bild 2.1). Angesichts der zur sicheren Seite hin abgeschätzten natürlichen Ventilation wird im folgenden von der geringeren Zwangsventilation ausgegangen mit einem Luftvolumenstrom pro  $50 \text{ m}^2$  von  $V_z = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$ .

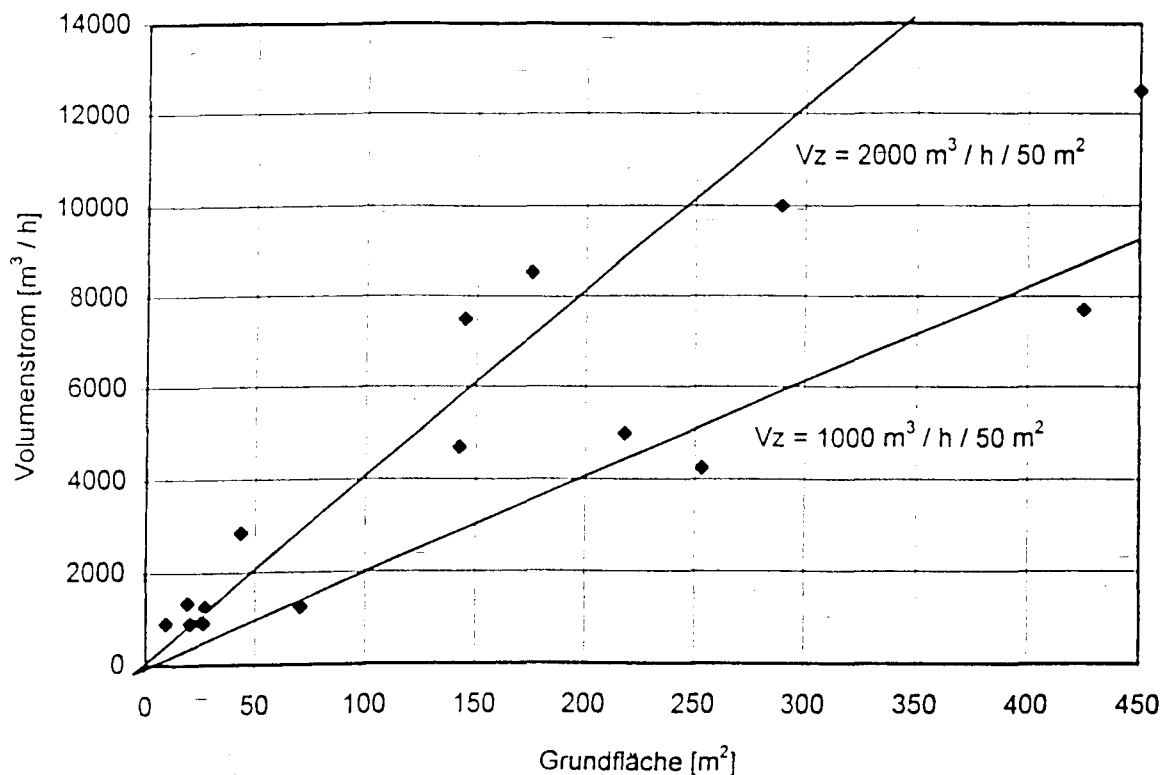


Bild 2.1: Volumenstrom der Zwangsventilation nach /U2/

### 2.3 Brandlasten

Es besteht Einvernehmen, daß als maßgebende Brandlastarten vor allem Öl und Kabel zu berücksichtigen sind. Die seitens der Siemens AG zur Verfügung gestellten Brandlastdichten /U1/ wurden dazu verwendet, die Bandbreite der in Praxis

vorkommenden flächenspezifischen Werte abzustecken. Hier erschien es nicht sinnvoll, in einem Nachweisverfahren für übliche Räume auch sehr seltene Extremfälle (z. B. Ölbehälterräume) abzudecken, da die zugehörigen Brandlasten in der Regel gekapselt sind und sich allenfalls in begrenztem Umfang (z. B. Leckagen) an einem Brand beteiligen.

Die flächenspezifischen Brandlasten werden bei den Berechnungen entsprechend Tabelle 2.1 variiert:

Tabelle 2.1 Flächenspezifische Brandlasten für die Wärmebilanzrechnungen

q in MJ / m <sup>2</sup>	126	378	720	1000	1500
q in kWh / m <sup>2</sup>	35	105	200	278	417

## 2.4 Thermische Stoffwerte der Umfassungsbauteile

Sowohl für die Wärmebilanzen zwischen der Gasschicht und den Umfassungsbau- teilen, als auch für den Wärmetransport innerhalb der Bauteile sind die thermischen Stoffwerte der Umfassungsbauteile wie die spezifische Wärmekapazität  $c_p$ , die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  oder die Dichte  $\rho$  von Bedeutung. Es wird angenommen, daß die Umfassungsbauteile im wesentlichen aus Beton gefertigt sind. Hierfür werden Werte aus der Literatur (gültig für Kiesbeton) gemäß Tabelle 2.2 verwendet.

Tabelle 2.2 Thermische Stoffwerte der Umfassungsbauteile

Stoffwert	$\lambda$ W/mK	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ J/kgK
Literaturwert	1.28	2200	879

### 3 ÜBERPRÜFUNG DER ABBRANDMODELLE

#### 3.1 Grundlagen

Für die Brandsimulationsrechnungen wird eine Entzündung vorausgesetzt und die Verbrennung im allgemeinen in Form einer Abbrandrate oder Energiefreisetzungsrate fest vorgegeben. Die Energiefreisetzungsrate  $\dot{Q}$  ergibt sich näherungsweise aus der Abbrandrate  $\dot{m}$  und dem Heizwert  $H_u$  durch Multiplikation mit der Verbrennungseffektivität  $X$ :

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot H_u \cdot X. \quad (3.1)$$

Diese vereinfachte Vorgabe der Energiefreisetzungsrate ist notwendig, weil eine umfassende Beschreibung der von vielen Parametern abhängigen realen Prozesse noch nicht Stand von Wissenschaft und Technik ist /6/. Die Vorgehensweise ist vertretbar, wenn die entsprechenden Eingangsdaten aus repräsentativen Brandversuchen abgeleitet werden können. Zu diesen Daten gehören im wesentlichen die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Flammen und die flächenbezogene Abbrandrate des Materials. Die Realitätsnähe der Berechnung hängt also davon ab, ob die entsprechenden Eingangsdaten aus Versuchen abgeleitet wurden, die weitgehend ähnliche Anfangs- und Randbedingungen wie die zu untersuchende Situation aufweisen.

Die tatsächlich erreichbare Abbrandrate hängt ab vom Sauerstoffangebot und dem stöchiometrischen Verbrennungsluftbedarf SLB. Zwischen dem stöchiometrischen Luftbedarf und dem Heizwert eines Stoffes besteht ein nahezu linearer Zusammenhang, der in Bild 3.1 auf der Grundlage von Versuchsdaten für unterschiedliche Stoffe aufgetragen ist. Anhand dieses Zusammenhangs kann der vielfach unbekannte Luftbedarf eines Stoffes mit bekanntem Heizwert näherungsweise bestimmt werden.

In den Fällen, bei denen die maximale Abbrandrate wegen einer zu geringen Sauerstoffzufuhr nicht erreicht wird, spricht man von einem ventilationsgesteuerten Brand.

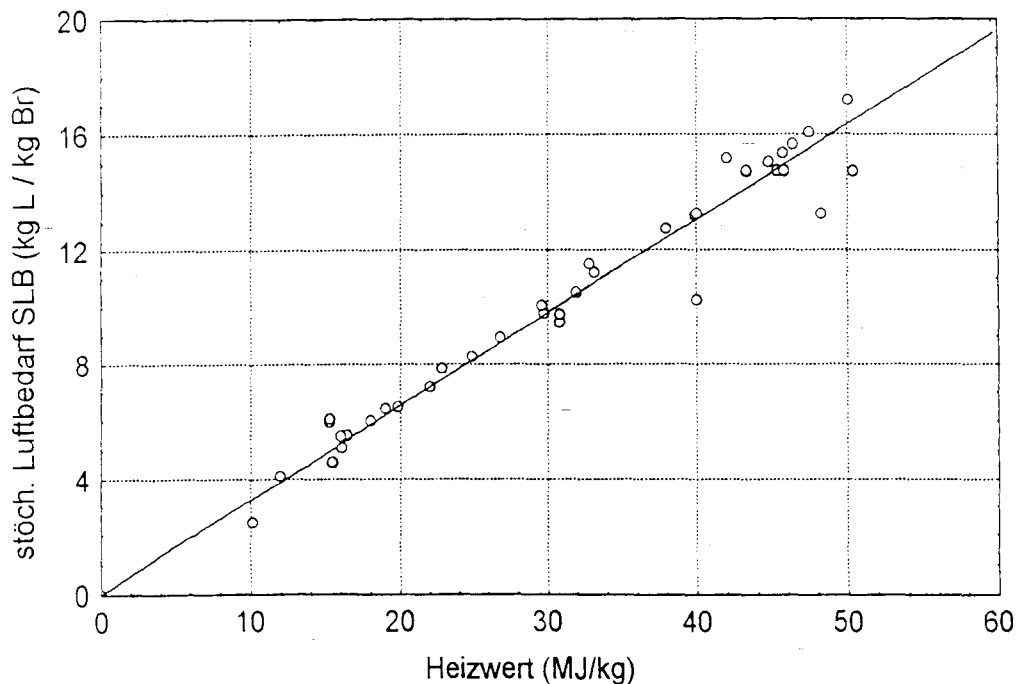


Bild 3.1 Zusammenhang zwischen Heizwert und stöchiometrischem Luftbedarf

Wird der Heizwert von PVC-Kabeln mit einem Bombenkalorimeter bestimmt, so schwankt er in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Kabel, insbesondere vom PE-Anteil, zwischen 12 MJ/kg und 20 MJ/kg. Für die vorliegenden Untersuchungen wird der Heizwert an der oberen Grenze mit  $H_u = 18 \text{ MJ/kg}$  angenommen. Beim Verbrennungsluftbedarf ist dann ebenfalls ein Wert an der oberen Grenze der Bandbreite zu wählen (zum Vergleich: für reines PVC wäre  $H_u = 15 \text{ MJ/kg}$  und  $\text{SLB} = 5,5 \text{ kg/kg}$  zu setzen). Die Verbrennungseffektivität  $X$  liegt bei realen Kabelbränden deutlich unter 1,0; sie wird hier mit  $X = 0,8$  zur sicheren Seite abgeschätzt.

Die Stoffgrößen für die sonstigen Brandlasten in Tabelle 3.1 sind nach Literaturangaben primär zur Orientierung angegeben; die zugehörigen Verbrennungseffektivitäten sind unbekannt und müssen vorerst konservativ mit 1,0 angesetzt werden.

Die Brandausbreitungsgeschwindigkeit  $v_f$  kann nur auf der Grundlage realistischer Brandversuche bestimmt werden, die unter vergleichbaren Bedingungen wie in Kernkraftwerksräumen und mit ähnlichen Brandlastanordnungen durchgeführt wurden. Während es zu Ölpoolbränden, neben den Untersuchungen in [3], weltweit eine Vielzahl von Versuchen gab, aus denen das Abbrandverhalten von Öllachen relativ

zuverlässig abgeschätzt werden kann, stehen zu Kabelbränden nur wenige relevante Versuchsergebnisse zur Verfügung.

Deshalb wurde bei der Beantragung dieses Vorhabens bereits ins Auge gefaßt, weitere Kabelbrandversuche - mit finanzieller Unterstützung der Industrie - durchzuführen. Hierauf wird in Abschnitt 3.3 näher eingegangen.

Für die beiden repräsentativen Brandlastarten Öl und PVC-Kabelisolierung werden in den Berechnungen die Werte der Tabelle 3.1, Zeile 1 und 2, zugrundegelegt:

Tabelle 3.1 Stoffgrößen ausgewählter Brandlasten

Zeile	Stoffgröße Stoffart	Heizwert $H_u$		SLB kg/kg	X -
		MJ/kg	kWh/kg		
1	Öl	42,0	11,7	15,2	1,0
2	PVC-Kabel	18,0	5,0	6,0	0,8
3	Holzkrippen	17,3	4,8	5,5	1,0
4	Aktivkohle (Holzkohle)	32,8	9,1	11,5	*
5	Hydrauliköl	35,3	9,8	10,9	*
6	PP	43,9	12,2	15,0	*
7	Papier	13,7	3,8	4,2	*
8	Textil (Putzlappen)	31,7	8,8	9,8	*
9	PE	43,9	12,2	15,0	*
10	Gummi (Kautschuk)	42,1	11,7	13,0	*
11	Kaltreiniger (Benzin)	42,8	11,9	14,1	≈ 1,0
12	Schmierfett	41,4	11,5	≈ 13	*

\* Werte liegen zur Zeit nicht vor und können nur durch Versuche mit realistischen Anordnungen bestimmt werden.



### **3.2 Abbrandverhalten von Öl**

#### **3.2.1 Brandszenarium**

Hinsichtlich der Ölbrände wird angenommen, daß durch eine defekte Rohrleitung eine Öllache von maximal  $40,5 \text{ m}^2$  entsteht. Es wird eine Brandausbreitungsgeschwindigkeit von ca.  $1 \text{ m/min}$  angenommen. Die Abbrandrate bei Ölpoolbränden nimmt überproportional mit der Poolfläche zu; bezogen auf die Fläche stellt sich jedoch bereits ab ca.  $2 \text{ m}^2$  ein Maximalwert ein.

#### **3.2.2 Abbrandrate**

Unter den gegebenen Verhältnissen wird die Abbrandrate über den Sauerstoffbedarf und die Ventilationsbedingungen bestimmt und wird in der Regel den maximal möglichen Wert nicht erreichen. In Übereinstimmung mit den HDR-Ölbrandversuchen /3/ wurde in der früheren Untersuchung /1/ von folgender maximalen Abbrandrate ausgegangen:

$$\dot{m}_{\text{OI}} = 0,3 \text{ kg/s.}$$

Auf eine solche willkürliche Begrenzung wird hier verzichtet, zumal die folgenden Berechnungen zeigen, daß dieser Wert in Abhängigkeit von der Belüftung und Raumgeometrie durchaus überschritten werden kann.

### **3.3 Abbrandverhalten von Kabeln**

#### **3.3.1 Brandversuche in SR 144/1**

Im Rahmen des BMI-Vorhabens SR 144/1 /5/ wurden unter anderem auch Kabelbrandversuche in kleinem und realem Maßstab durchgeführt. Bei den Versuchen in einer Kabelkanalanordnung wurden u. a. jeweils 3 Kabelpritschen von  $3 \text{ m}$  Länge und  $0,5 \text{ m}$  Breite in einem vertikalen Abstand von  $0,27 \text{ m}$  übereinander angeordnet. Die untere Pritsche befand sich  $0,28 \text{ m}$  über dem Boden.

Aus der gesamten Versuchsserie sind letztlich nur zwei Versuche relevant:

Versuchsreihe A, Nr. 6 - 55 kg PVC an Kabeln, Wanne (0,25 m<sup>2</sup>) mit 2 kg Öl.

Eine Abschätzung der Energiefreisetzungsrate des „Primärbrandes“ mit Öl ergab einen Wert von ca. 0,35 MW. Für die untere Pritsche betrug die Brandausbreitungsgeschwindigkeit ca. 0,15 m/min. Diese erhöhte sich bei der mittleren Pritsche auf 0,24 m/min und bei der oberen Pritsche auf 0,4 m/min. Die Brandausbreitung über die Gesamtlänge war dabei auf der oberen Pritsche schneller abgeschlossen als auf der untersten Pritsche.

Versuchsreihe B, Nr. 6 - 150 kg PVC an Kabeln, Wanne (0,25 m<sup>2</sup>) mit 4 kg Spiritus.

Eine Abschätzung des Spiritusbrandes in der Wanne ergab Werte im Bereich von 0,12 - 0,28 MW. Die Brandausbreitungsgeschwindigkeit auf den beiden unteren Pritschen kann mit 0,14 - 0,28 m/min angegeben werden.

Die Brandausbreitung auf der oberen Pritsche wurde nach 10 Minuten durch einen Feuerübersprung abgeschlossen.

### 3.3.2 HDR-Brandversuche

Im Rahmen der über 7 Jahre mit Förderung durch den BMFT durchgeführten HDR-Brandversuche /3, 4/ fanden abschließend auch Kabelbrandversuche statt. Hierbei wurden bis zu fünf Pritschen übereinander angeordnet. Die Pritschen waren 0,3 m breit und zwischen 3,5 m und 4,5 m lang. Der vertikale Abstand der Pritschen betrug 0,2 m. Als Zündquelle diente ein Gasbrenner mit einer Leistung von ca. 2,8 kW. In allen Versuchen wurden die Kabel innerhalb einer Minute entzündet, der Zündbrenner wurde daraufhin abgeschaltet.

Versuch E 42.1 - Trasse III mit drei übereinander liegenden Pritschen

Die PVC-Menge auf der unteren Pritsche wird mit 10 kg und auf den anderen beiden Pritschen mit ca. 18,5 kg angegeben. Die Pritschen befanden sich in Bodennähe und die Entzündung erfolgte an der unteren Pritsche. Die Flammenausbreitung auf dieser Pritsche verlief sehr langsam und kam zeitweise fast zum Erliegen. Nach einer gewissen Zeit beschleunigte sich die Brandausbreitungsgeschwindigkeit wieder und kann für die Endphase mit ca. 4,8 cm/min angegeben werden.

Die Brandausbreitung auf der oberen Pritsche war schneller abgeschlossen als auf der unteren. Hier beschleunigte sich die Brandausbreitungsgeschwindigkeit gegen Versuchsende auf ca. 6 cm/min.

#### Versuch E 42.2 - Trasse I mit den oberen fünf Pritschen

Der Zündbrenner wurde in Höhe der Pritsche 5 (ca. 1,5 m über dem Fußboden) installiert. Aus den Meßergebnissen ist abzulesen, daß die Flammen des Brenners alle fünf Pritschen erreichten, die auch innerhalb eines Zeitraums von einer Minute entzündet wurden. Die Flammen des Zündbrenners wurden allerdings durch die vorhandene Luftströmung abgelenkt. Dadurch erfolgte die Entzündung etwa in der Mitte der Pritsche, so daß sich die Flammen in zwei Richtungen ausbreiten konnten. Unterstellt man eine ähnliche Flammenausbreitungsgeschwindigkeit wie bei Versuch E 42.1, dann müssen sich aufgrund der zusätzlichen Ausbreitungsrichtung und der größeren Pritschenanzahl in vergleichbaren Zeiträumen annähernd doppelt so hohe Abbrandraten eingestellt haben wie bei Versuch E 42.1. Daß diese Annahme in der Tendenz zutrifft, erkennt man z. B. an den wesentlich schneller ansteigenden Raumtemperaturen.

Die schnell ansteigenden Raumtemperaturen bei zunehmender Rauchgasschichtdicke führten zu einer entsprechenden Aufheizung der Kabel. Vergleicht man die Raumtemperaturen in Höhe + 6,1 m mit den Temperaturen der Thermoelemente der Pritsche 5 (auf + 6,32 m), dann erkennt man, daß die Meßwerte an diesen Elementen der Umgebungstemperatur folgten /4/. Erst zu einem späteren Zeitpunkt waren an den über die Länge der Pritschen verteilten Thermoelementen wieder unterschiedliche Meßwerte festzustellen, mit deren Hilfe eine Abschätzung der Brandausbreitungsgeschwindigkeit möglich war. Da ein Temperaturgradient in vertikaler Richtung vorlag, trat die Differenzierung der Temperaturverläufe an den über den Kabeloberflächen entlang den Pritschen angebrachten Thermoelementen um so später auf, je tiefer die Pritsche angeordnet war.

Bei der Abschätzung der Ausbreitungsgeschwindigkeit ist zu beachten, daß sich die Umgebungstemperatur in dem betrachteten Zeitraum stark veränderte. Die Geschwindigkeiten sind somit Mittelwerte bezüglich der durchlaufenen Umgebungstemperatur, wobei in der Regel die Anfangsgeschwindigkeit geringer und die Endgeschwindigkeit größer war.

Aus den Meßwerten des Versuches E 42.2 können zwei Bereiche abgelesen werden:

bei Umgebungstemperaturen von 20 °C bis 200 °C:	$v = 0,12 - 0,24 \text{ m/min}$
bei Umgebungstemperaturen von 200 °C bis 350 °C:	$v = 0,5 - 1,0 \text{ m/min.}$

Durch die immer stärker wirkende Rückkopplung (höhere Umgebungstemperatur → schnellere Brandausbreitung → höhere Energiefreisetzungsrate → höhere Umgebungstemperatur) kam es bei diesem Versuch (E 42.2) schließlich zu einem Feuerübersprung auf andere Pritschen.

### 3.3.3 Kabelbrandversuche im iBMB

Aufgrund von Vorschlägen und Kriterien, die im Rahmen dieser Studie erarbeitet wurden, fanden im Auftrag von Brandschutzfirmen, die sich auch mit Kabelschutzsystemen befassen, Ende 1994/Anfang 1995 im iBMB zahlreiche Kabelbrandversuche in realistischem Maßstab statt /6 - 9/. Dabei wurden Kabel auf horizontalen und vertikalen Pritschen sowie auf Kabelrosten untersucht.

Bei den Versuchen mit Kabelpritschen lag die PVC-Menge der Kabelisolierungen bei ca. 21 - 25 kg pro Pritsche. Die Anordnung bestand aus einer Pritsche oder aus zwei Pritschen übereinander. Die Zündung erfolgte jeweils über einen Kiesbettbrenner mit einer Leistung von 50 kW.

Um verschiedene Umgebungsbedingungen (z. B. infolge eines Primärbrandes anderer Ursache) zu simulieren, wurde der Brandraum mit Hilfe von Ölbrennern auf unterschiedliche Temperaturen aufgeheizt. Die Beobachtungen bei den Brandversuchen an (einzelnen) Kabelpritschen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Bei normaler oder wenig erhöhter Umgebungstemperatur lassen sich Kabel zwar entzünden, die Brandausbreitung kommt jedoch nach Wegfall der Zündquelle wieder zum Stillstand.

- Bei höherer Umgebungstemperatur (180 °C - 200 °C) breiten sich Flammen über eine horizontale Kabeltrasse mit einer Geschwindigkeit von ca. 3,5 cm/min in der Anfangsphase und ca. 5,3 cm/min in der Endphase aus.
- Bei hoher Umgebungstemperatur von ca. 350°C nimmt die Brandausbreitungsgeschwindigkeit auf ca. 120 cm/min zu; es kommt zu einer Art Flashover.
- Bei vertikaler Pritschenanordnung reicht bereits eine Umgebungstemperatur von ca. 200 °C aus, um eine flashoverartige Brandausbreitung mit einer Geschwindigkeit von 100 - 200 cm/min zu erzeugen.
- Sind zwei Pritschen übereinander angeordnet, dann erfolgt die Brandausbreitung bei gleicher Umgebungstemperatur etwas rascher als bei einer Einzelpritze, sie beträgt z. B. bei 180 - 200 °C über 5,3 cm/min.

Einzelheiten der Versuchsdurchführung sowie die umfangreichen Meßergebnisse sind in den Untersuchungsberichten /7 - 9/ dokumentiert. Eine zusammenfassende Darstellung der Versuche mit horizontalen und vertikalen Kabelpritschen aus /6/ ist diesem Bericht als Anlage 1 beigelegt.

### 3.3.4 Kabelbrandmodell

Die vorliegenden Meßdaten von Naturbrandversuchen mit ungeschützten Kabelanlagen wurden nochmals hinsichtlich der Brandausbreitungsgeschwindigkeit ausgewertet, wobei gleiche Kriterien für die Auswertung der Thermoelementmessungen und des Einflusses der Umgebungstemperatur zugrundegelegt wurden. Generell ist die Auswertung der Brandausbreitungsgeschwindigkeit mit großen Unsicherheiten verbunden. Dennoch lassen sich im Hinblick auf die hier interessierende realistische Abschätzung des Brandausbreitungs- und Abbrandverhaltens einige wichtige Schlüsse ziehen:

- Wird die Brandausbreitung noch nicht von höheren Umgebungstemperaturen beeinflusst, kann sie von selbst zum Stillstand kommen. Der Verlauf des Brandgeschehens ist aber in hohem Maße von der Zündquelle und der Anordnung der Kabel abhängig und kann daher nur im Einzelfall beurteilt werden.

- Kommt es zu einer Brandausbreitung auf einer horizontal angeordneten Kabelpritsche, so liegt die Brandausbreitungsgeschwindigkeit in der Größenordnung von 4 - 6 cm/min. Diese Werte sind bis zu einer Umgebungstemperatur von 130 °C durch die HDR-Versuche /4/ und die Versuche am iBMB /5/ abgesichert. Nach den Experimenten am iBMB sind sie möglicherweise auch noch bei höherer Umgebungstemperatur gültig. Um dazu genauere Aussagen machen zu können, müßte noch der Einfluß der Pritschenanordnung näher untersucht werden.
- Bei Umgebungstemperaturen im Bereich von 150 °C - 200 °C ist in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer der Zündquelle und der Pritschenanordnung mit höheren Brandausbreitungsgeschwindigkeiten zu rechnen, nach den Versuchen SR 144/1 und HDR E 42.2 können ca. 12 - 30 cm/min auftreten.
- Steigt die Umgebungstemperatur über 200 °C an, ist von einer weiteren Zunahme der Ausbreitungsgeschwindigkeit auszugehen. Aus den HDR-Versuchen lassen sich für den Temperaturbereich von 200 °C - 300 °C Ausbreitungsgeschwindigkeiten von 50 - 100 cm/min ableiten. Die Versuche am iBMB nennen 100 - 120 cm/min bei Temperaturen um 350 °C.

Die Daten in diesem Temperaturbereich sind aber noch nicht ausreichend abgesichert. Insbesondere fehlt eine genauere Abstufung im Temperaturbereich von 200 °C - 300 °C. Bei Temperaturen über 300 °C dürfte der Übergang zum Flashover fließend sein.

Für Brandsimulationen im frühen Stadium eines Brandes können die Brandausbreitungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur gemäß Tabelle 3.2 zugrundegelegt werden.

Tabelle 3.2 Temperaturabhängige Brandausbreitungsgeschwindigkeiten

Umgebungstemperatur	Ausbreitungsgeschwindigkeit
< 150 °C	0,04 - 0,06 m/min
150 °C - 200 °C	0,12 - 0,3 m/min
200 °C - 300 °C	0,5 - 1 m/min

Über die Brandausbreitungsgeschwindigkeit ergibt sich eine mit der Branddauer zunehmende Brandfläche  $A_b(t)$ , aus der sich mit einer flächenspezifischen Abbrandrate  $\dot{m}_b$  die für die Simulationsrechnung wichtige Energiefreisetzungsrate  $\dot{Q}(t)$  berechnen läßt:

$$\dot{Q}(t) = \dot{m}_b \cdot A_b(t) \cdot H_u \cdot X. \quad (3.2)$$

Der untere Heizwert  $H_u$  und die Verbrennungseffektivität  $X$  können zu einem effektiven Heizwert zusammengefaßt werden (vgl. Abschnitt 3.1):

$$H_{u,eff} = H_u \cdot X. \quad (3.3)$$

Anhaltswerte für diese Größe können aus Untersuchungen an reinem PVC und Kabeln im Cone-Kalorimeter gewonnen werden. Bei entsprechenden Experimenten am iBMB wurde ein Wert von ca. 15 MJ/kg gefunden. Dieser Wert stimmt mit anderen Untersuchungen an PVC überein /11/. Allerdings zeigen die Experimente in /12/, daß je nach verwendetem Material auch höhere Heizwerte auftreten können. Die Voruntersuchungen zu den HDR-Experimenten lieferten ebenfalls größere Differenzen in den Heizwerten. Da nicht ausgeschlossen werden kann, daß in Kernkraftwerken auch Kabel mit höherem effektiven Heizwert vorhanden sind, erscheint die Größenordnung von 18 MJ/kg (vgl. Tabelle 3.1) durchaus angebracht.

Für die flächenbezogene Abbrandrate werden in der Literatur 30 - 75 kg/(m<sup>2</sup>·h) veranschlagt. Streng genommen ist auch diese Größe nicht konstant und kann sich im Verlauf des Brandes ändern. Wie die bereits genannten Experimente im Cone-Kalorimeter zeigten /11/, kann die flächenbezogene Abbrandrate, je nach Bestrahlungsstärke, zwischen 0,002 kg/(m<sup>2</sup>·s) und 0,025 kg/(m<sup>2</sup>·s) schwanken. Tewarson /13/ hat flächenbezogene Abbrandraten aus klein- und großmaßstäblichen Experimenten ausgewertet und für PVC einen asymptotischen Wert von 0,016 kg/(m<sup>2</sup>·s) gefunden. Bei diesen Untersuchungen handelte es sich aber im wesentlichen um flache Oberflächen. Berücksichtigt man die Geometrie der Kabel, so kann deren Oberfläche um einen Faktor  $\pi/2$  bis  $\pi$  größer sein als die entsprechende Projektionsfläche.

Eine grobe Abschätzung der flächenbezogenen Abbrandrate bei dem Versuch E 42.2 ergibt Werte zwischen 0,007 kg/(m<sup>2</sup>·s) und 0,03 kg/(m<sup>2</sup>·s). Daraus folgt, daß die o. g. angenommenen Werte für die flächenbezogene Abbrandrate gerechtfertigt

sind. Eine genauere Eingrenzung ist anhand der bisherigen großmaßstäblichen Brandversuche nicht möglich.

### 3.3.5 Abbrandrate

Wie in Abschnitt 3.1 erwähnt, ist für die Brandsimulationsrechnung die Vorgabe einer Abbrandrate oder Energiefreisetzungsrate notwendig, da die Modellierung des Verbrennungsprozesses und der Flammenausbreitung nur eingeschränkt möglich ist.

Bei annähernd flächiger Ausbreitung steigt die Abbrandrate zunächst quadratisch mit der Zeit an. Dies ist sicherlich ein grobes, aber vertretbares Modell, da die vorliegenden lokalen Gegebenheiten in den unterschiedlichen Räumen nicht im Detail beurteilt werden können.

Für die Berechnungen wird in den ersten 24 min die Abbrandrate  $m_b$  explizit nach Tabelle 3.3 vorgegeben.

Tabelle 3.3 Flächenspezifische Abbrandrate für Kabelanlagen

t [min]	0	3	6	9	12	15	18	21	24
$m_b$ [kg/s]	0	0.023	0.04	0.06	0.12	0.33	0.54	0.76	0.98

Die HDR-Experimente /4/ und die amerikanischen Untersuchungen /14/ haben gezeigt, daß die Abbrandraten bei Kabelbränden im fortentwickelten Stadium einen Maximalwert erreichen, der etwa einer Brandfläche von ca. 40 m<sup>2</sup> entspricht. Aus diesem Grund werden in den folgenden Berechnungen die Brandflächen zunächst auch bei den größeren Räumen auf ca. 40 m<sup>2</sup> beschränkt. Im Sinne der Allgemeingültigkeit werden anschließend aber auch größere Brandflächen betrachtet.



## 4 DURCHFÜHRUNG VON BRANDSIMULATIONSRECHNUNGEN

### 4.1 Rechenmodell

Die nachfolgenden Berechnungen werden mit dem Mehrraum-Zonenmodell FIGARO /15/ durchgeführt, das im Zusammenhang mit der rechnerischen Begleitung von großmaßstäblichen Brandversuchen vielfach überprüft und bestätigt wurde /16 - 18/. Die Eingangsdaten für die Berechnungen wurden in den Abschnitten 2 und 3 ausführlich diskutiert und werden an dieser Stelle nicht wiederholt. Die verbleibenden Unsicherheiten in den Annahmen zur Ventilation und zum Abbrandverhalten werden im Rahmen von Parametervariationen und Sensitivitätsstudien weiter verfolgt.

Als kennzeichnende Größe für die Beanspruchung von Konstruktionen bei einem Brand wird die äquivalente Branddauer  $t_a$  bestimmt. Hierzu wird während jedes Rechenschrittes die Temperatur ermittelt, die in 3,5 cm Tiefe einer Stahlbetonplatte von 20 cm Dicke auftritt (vgl. /1, 2/). Die Erwärmung dieses „Vergleichsbauteils“ im Naturbrand wird mit der entsprechenden Temperatur bei Normbrandbeanspruchung gemäß Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) nach DIN 4102 Teil 2 verglichen. In Bild 4.1 sind die vorab berechneten Temperaturzeitverläufe bei ETK-Brandbeanspruchung des Vergleichsbauteils in einem 2,5 m hohen Raum und einem 5,0 m hohen Raum dargestellt. Zum Vergleich sind die bei einem Normbrandversuch in einem Vergleichselement gemessenen (Hass) sowie die für die Studie /1/ berechneten Temperaturen (KTA-Rechnungen) eingezeichnet. Man erkennt, daß die rechnerischen Vergleichsbauteiltemperaturen etwas höher als die experimentell ermittelten ausfallen. Diese Abweichungen aufgrund der angenommenen wärmetech-nischen Stoffwerte sind aber für die Ergebnisse ohne Bedeutung.

Jeder im Naturbrand (Öl- oder Kabelbrand) erreichten Bauteiltemperatur kann jetzt nach Bild 4.1 die Dauer eines äquivalenten ETK-Brandes zugeordnet werden. Aber nur die zur maximalen Bauteiltemperatur während des Naturbrandes gehörige Normbranddauer wird als „äquivalente Branddauer“ definiert.

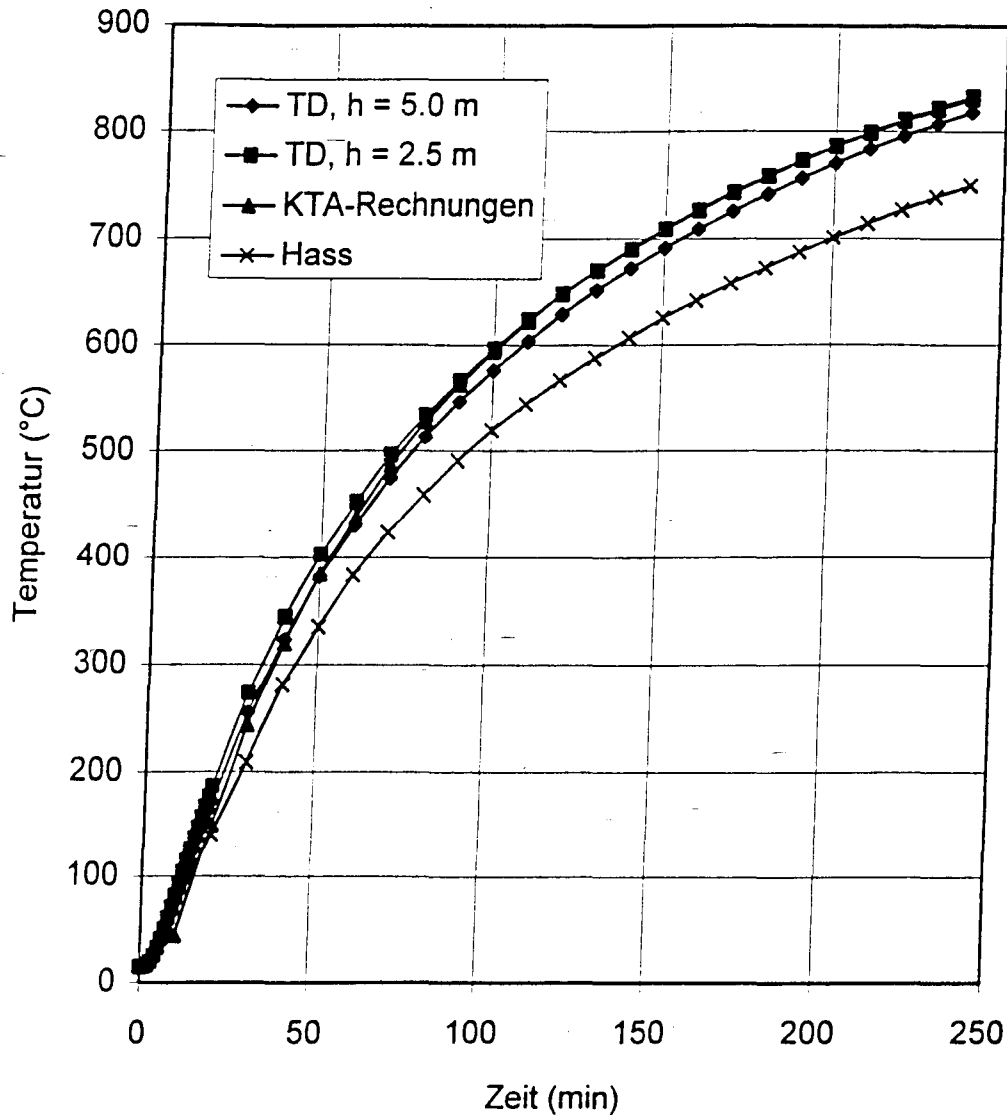


Bild 4.1 Berechnete und gemessene Vergleichsbauteiltemperatur bei ETK-Brand

#### 4.2 Berechnung von lokal begrenzten Öl- und Kabelbränden

Mit den brandschutztechnischen Randbedingungen gemäß Abschnitt 2.1 bis 2.4 werden unter Ansatz der Abbrandmodelle für Öl- und Kabelbrandlasten gemäß Abschnitt 3.1 bis 3.3 Wärmebilanzrechnungen nach /15/ durchgeführt. Als „Leitparameter“ dient die flächenspezifische Brandlast  $q$ , die in Anlehnung an /19/ als Durchschnittswert für den gesamten Raum verstanden wird. Variiert werden - neben der Brandlast - die Raumgröße ( $A = 150 - 450 \text{ m}^2$ ) sowie die Raumhöhe ( $H = 2,5 \text{ m}$  bzw.  $5,0 \text{ m}$ ), wobei die Größe der Ventilationsöffnungen und des Volumenstromes der Zwangsventilation proportional zur Raumgröße wachsen.

Im Hinblick auf die angestrebten Bemessungshilfen werden im folgenden die berechneten äquivalenten Branddauern jeweils grafisch ausgewertet, indem sie über der mittleren Brandlast  $q$  aufgetragen werden. Als Scharparameter dient die Grundfläche des Brandraumes, mit der gemäß Abschnitt 2.2 die Ventilation proportional verändert wird. Im einzelnen werden dargestellt:

Bild 4.2a Ölbrandlast, Raumhöhe 2,5 m

Bild 4.2b Ölbrandlast, Raumhöhe 5,0 m

Bild 4.3a Kabelbrandlast, Raumhöhe 2,5 m

Bild 4.3b Kabelbrandlast, Raumhöhe 5,0 m.

Wie weiter oben begründet, wird die Brandlast auf  $1500 \text{ MJ/m}^2$  begrenzt. Die äquivalenten Branddauern werden nur bis 180 Minuten aufgetragen. Höhere Feuerwiderstandsdauern werden in Deutschland baurechtlich nicht gefordert. Zudem fehlen in der Regel Brauchbarkeitsnachweise für Bauteile und insbesondere Sonderbauteile mit höheren Feuerwiderstandsdauern.

Bei Betrachtung der Diagramme fallen einige systematische Abhängigkeiten auf:

- Die äquivalenten Branddauern wachsen mit der Brandlast unterproportional an.
- Die äquivalenten Branddauern nehmen bei gleicher Brandlast mit der Raumgröße und der daran gekoppelten Ventilation unterproportional zu.
- Die äquivalenten Branddauern sind bei den 5 m hohen Räumen bis zu 25 % geringer als bei den 2,5 m hohen Räumen.
- Die äquivalenten Branddauern bei Kabelbränden sind - entsprechend der geringeren Verbrennungseffektivität (vgl. Tabelle 3.1) - bis zu 20 % niedriger als bei den Ölbränden mit hoher Verbrennungseffektivität.

Bis auf die zweite Beobachtung decken sich die festgestellten systematischen Abhängigkeiten mit bisherigen Erfahrungen (z. B. aus [1, 2, 20]). Die starke Zunahme von  $t_a$  mit der Raumgröße erscheint jedoch auf den ersten Blick verwunderlich, zumal gerade der lokal begrenzte Brand mit zunehmender Raumgrundfläche

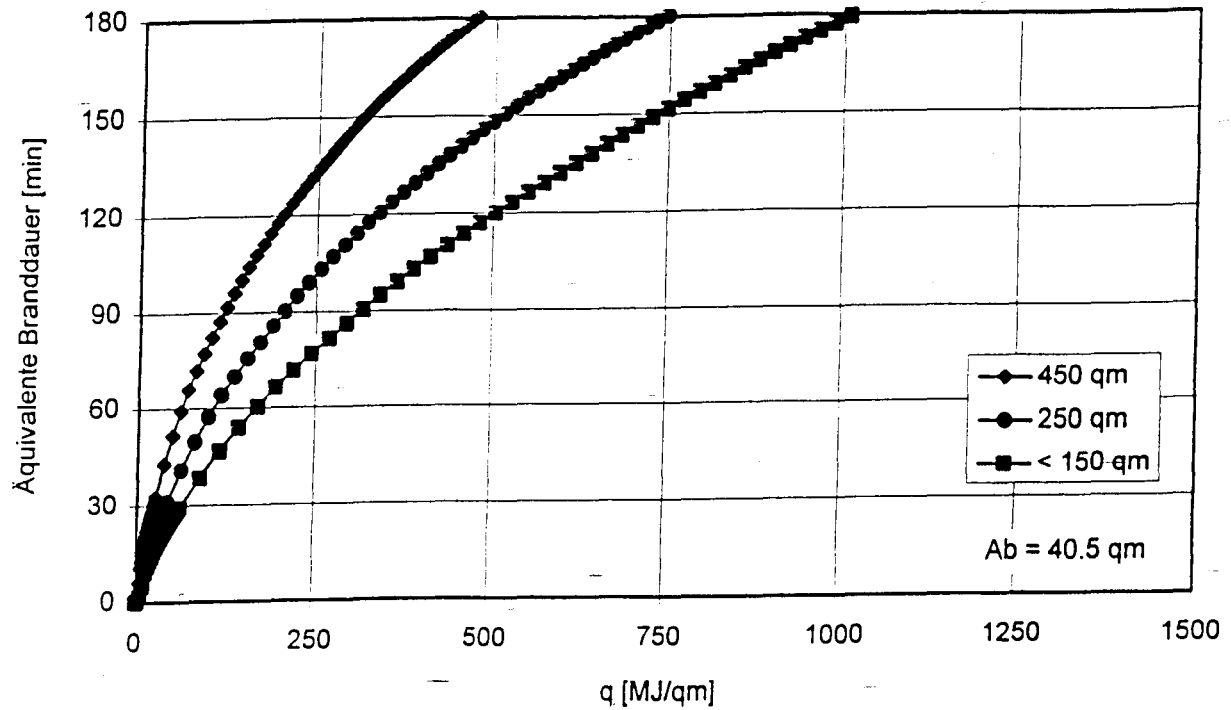


Bild 4.2a Äquivalente Branddauer bei Ölbränden in Räumen von 2,5 m Höhe

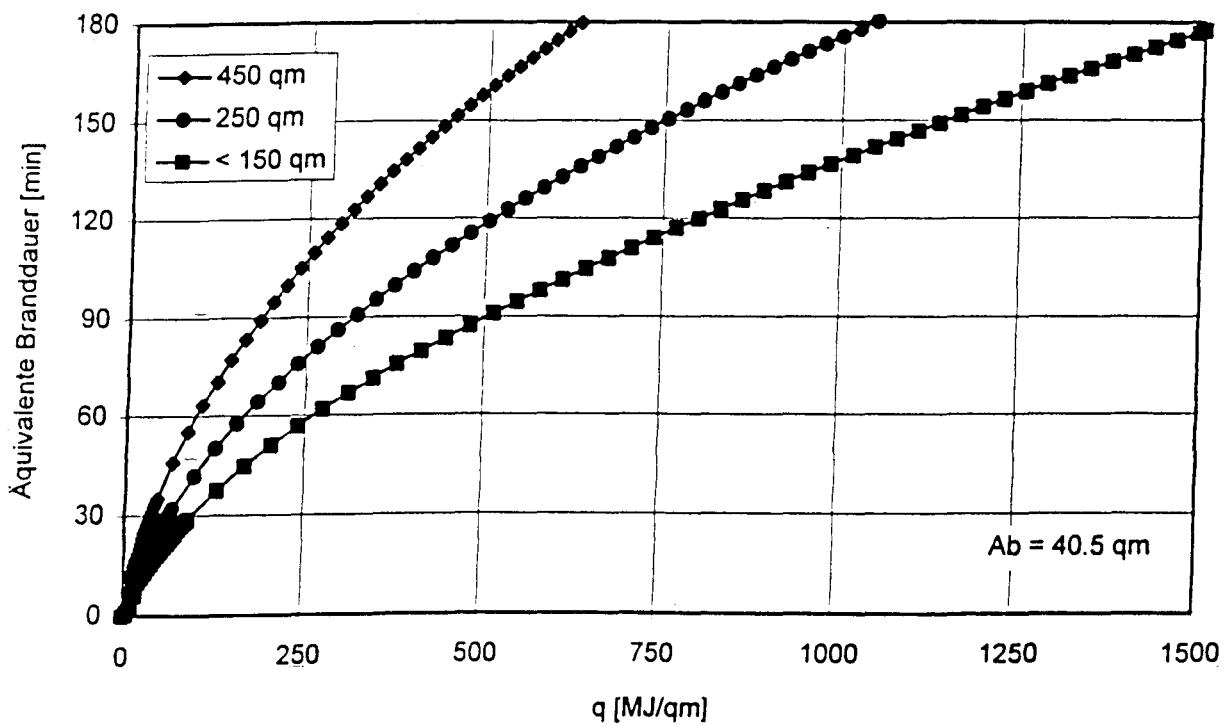


Bild 4.2b Äquivalente Branddauer bei Ölbränden in Räumen von 5,0 m Höhe

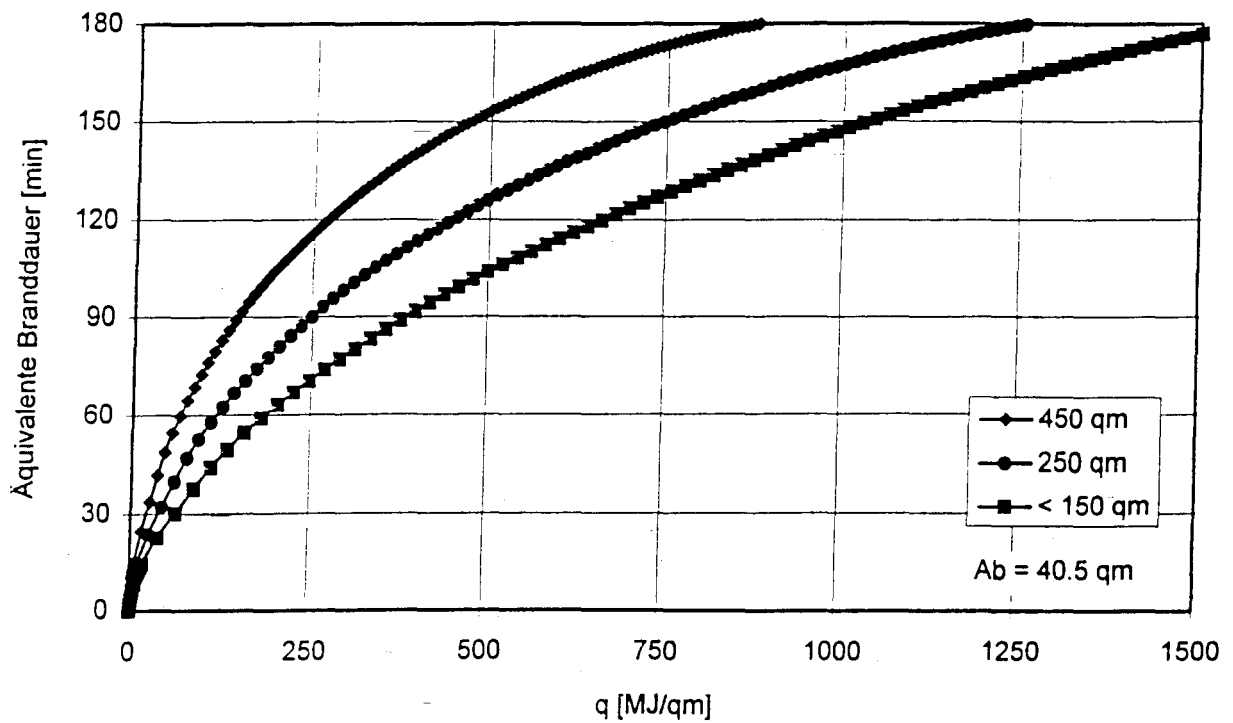


Bild 4.3a Äquivalente Branddauer bei Kabelbränden in Räumen von 2,5 m Höhe

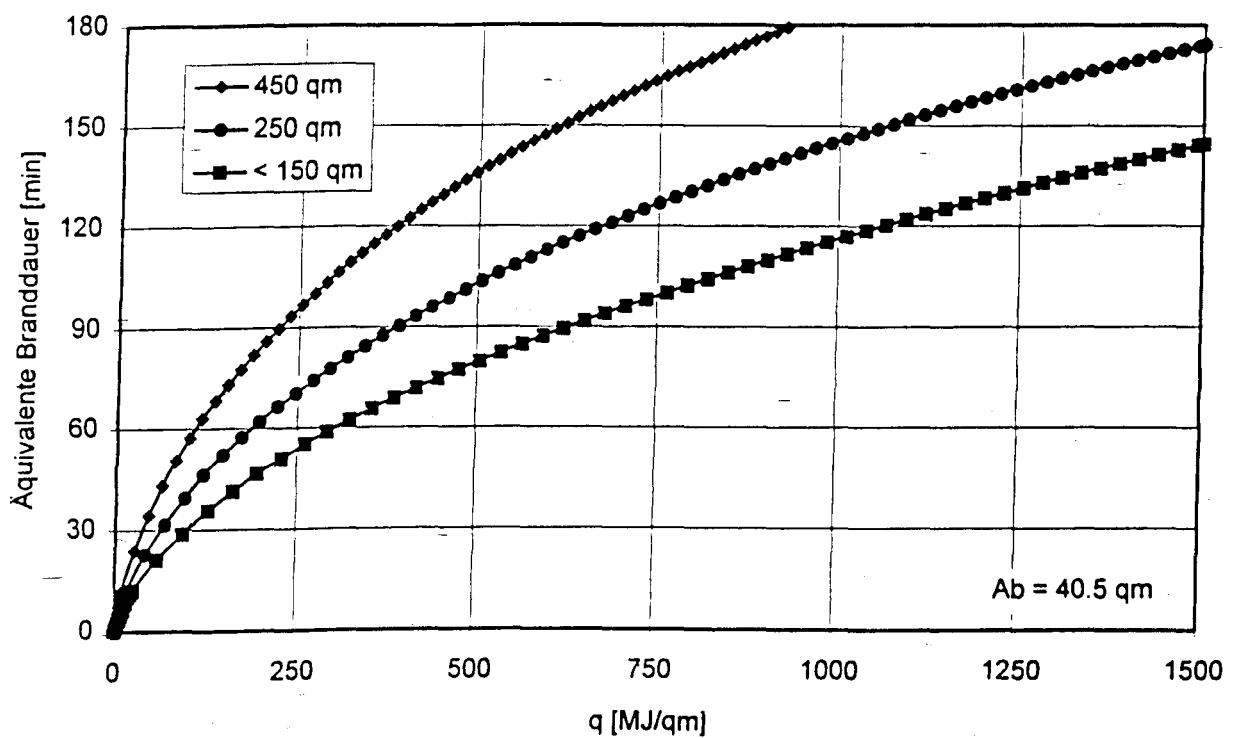


Bild 4.3b Äquivalente Branddauer bei Kabelbränden in Räumen von 5,0 m Höhe

bessere Möglichkeiten zur Verteilung der Brandwirkungen hat. Gleichzeitig wächst jedoch - entsprechend der flächenspezifisch vorgegebenen Brandlast  $q$  - die Gesamtbrandlast im Raum ( $q \times A$ ), wodurch sich bei dem postulierten Abbrand auf einer begrenzten Fläche extrem lange Branddauern ergeben können. Hieraus resultieren bei nahezu konstanter Raum- und Bauteiltemperatur sehr hohe äquivalente Branddauern. Dieses Phänomen ist typisch für einen lokal begrenzten Brand, z. B. einen Ölleckagebrand, trifft aber sicher nicht zu auf einen ausgedehnten Kabelbrand.

Deshalb werden ausgedehnte Brände nochmals gesondert in Abschnitt 4.4 untersucht.

### **4.3 Untersuchung systematischer Einflüsse**

#### **4.3.1 Überblick**

Durch die Wärmebilanzrechnungen in Abschnitt 4.2 wurde bestätigt, daß die Bauteilbeanspruchung systematisch von den Eingangsdaten gemäß Abschnitt 2 und 3 abhängt. Allerdings lassen sich die einzelnen Einflüsse zum Teil nicht voneinander trennen. Deshalb erscheint es sinnvoll und notwendig, in einer Parameterstudie nochmals die Einflüsse einzeln zu beleuchten mit dem Ziel, die bestehenden Abhängigkeiten ggf. verallgemeinern zu können.

Im einzelnen sind folgende Parameter gesondert zu untersuchen:

- die Größe der Öffnungen für die natürliche Ventilation ( $A_v$ ),
- die Grundfläche des Brandraumes ( $A$ ),
- die Höhe des Brandraumes ( $H$ ),
- das Abbrandverhalten der dominierenden Brandlast.

#### **4.3.2 Natürliche Ventilation**

Bezüglich der Ventilation ist ein unmittelbarer Einfluß auf die Abbrandrate zu vermuten, da es sich bei den untersuchten Raumbränden erfahrungsgemäß um

ventilationsgesteuerte Brände handelt. Dabei ist im allgemeinen die natürliche Ventilation dominierend.

Deshalb wird die recht willkürlich angenommene Öffnungsfläche  $A_v$  für die natürliche Ventilation, unabhängig von der Raumgröße, zwischen  $1,3 \text{ m}^2$  und  $40 \text{ m}^2$  variiert. Die Parameterstudie wird für Ölbrände in dem Raum mit  $150 \text{ m}^2$  Grundfläche und  $2,5 \text{ m}$  Höhe durchgeführt. Die Zwangsventilation wird mit  $3000 \text{ m}^3/\text{h}$  konstantgehalten. Hinsichtlich des Brandszenarios wird angenommen, daß sich die Brandfläche  $A_b$  in einem Raumsegment von  $40,5 \text{ m}^2$  beschränkt und daß die Abbrandrate durch Zulauf von Leckageöl näherungsweise konstant bleibt.

Die Ergebnisse in Bild 4.4 korrespondieren mit der untersten Kurve in Bild 4.2a.

Man erkennt in Bild 4.4, daß im Bereich der bisher für die betreffende Raumgröße angenommenen Ventilationsöffnung von  $3,9 \text{ m}^2$  (oder etwas geringer) maximale Werte der äquivalenten Branddauer erreicht werden. Offenbar stellt sich hier ein Optimum ein zwischen den beiden gegenläufigen Effekten

- Erhöhung der Abbrandrate mit verbesserter Zuluftversorgung und
- verstärkte Abfuhr von Wärme durch die größere Öffnung.

Dieser Zusammenhang wird nochmals in Bild 4.5 verdeutlicht. Darin sind nur die Ergebnisse für die maximale Brandlast  $q = 1500 \text{ MJ/m}^2$  hinsichtlich Abbrandrate und äquivalenter Branddauer bei variiertter Öffnungsfläche  $A_v$  ausgewertet. Demnach wächst die Abbrandrate (untere Kurve) mit zunehmender Ventilation stetig weiter und liegt selbst bei einer Öffnungsfläche von ca. 26 % der Grundfläche noch unter  $0,3 \text{ kg/s}$ . Oberhalb von ca.  $5 \text{ m}^2$  Öffnungsfläche (ca. 3 % der Grundfläche) dominiert der günstige Einfluß der Wärmeabfuhr, so daß die äquivalente Branddauer (obere Kurve) mit zunehmender Öffnungsfläche stetig abnimmt.

In der Praxis dürfte es problematisch sein, die Öffnungsflächen für die natürliche Ventilation exakt anzugeben. Für eine konservative Betrachtung erscheint es daher angebracht, stets von den ungünstigsten Verhältnissen (Maximum in Bild 4.5) auszugehen.

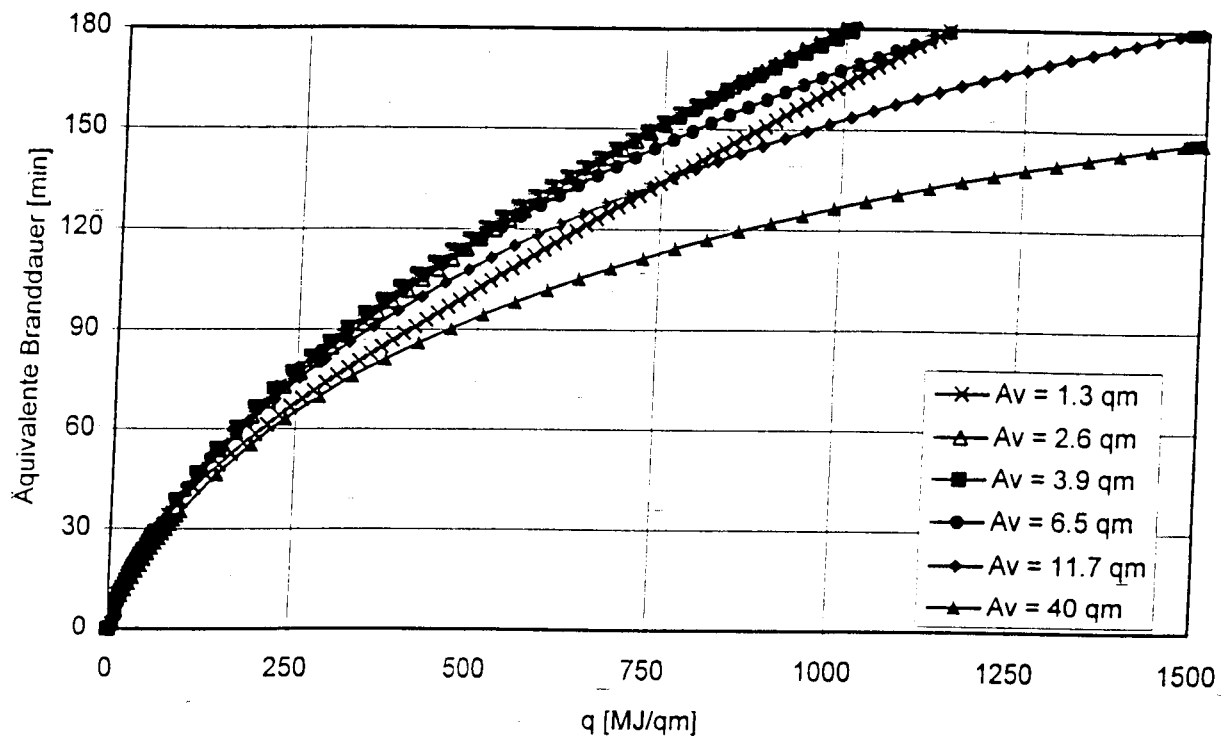


Bild 4.4 Äquivalente Branddauer bei Ölbränden in einem Raum von  $150 \text{ m}^2$  Grundfläche und 2,5 m Höhe bei variierter Ventilationsöffnung  $A_v$

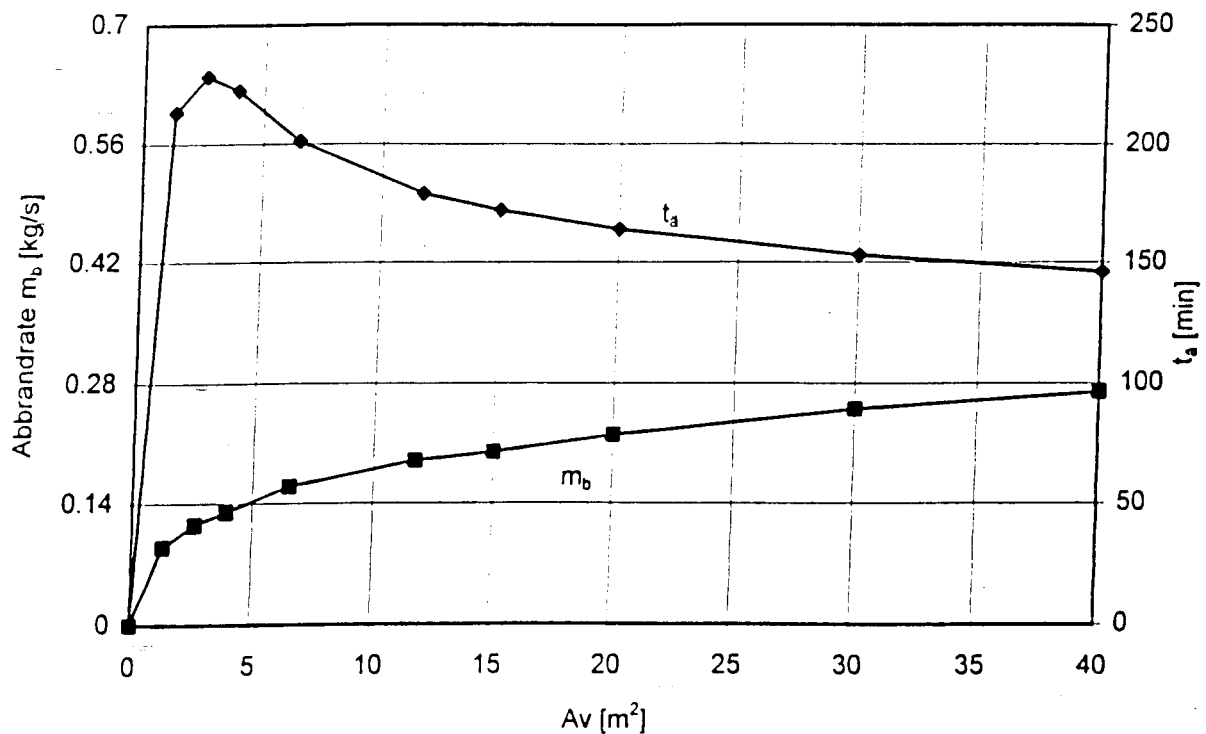


Bild 4.5 Abbrandrate (untere Kurve) und äquivalente Branddauer (obere Kurve) bei Ölbränden in einem Raum von  $150 \text{ m}^2$  Grundfläche und 2,5 m Höhe bei variierter Ventilationsöffnung  $A_v$



#### 4.3.3 Raumgrundfläche

Bei den Berechnungen in Abschnitt 4.2 war die Brandfläche  $A_b$  des Brandraumes linear mit der Größe der Ventilationsöffnung  $A_v$  verknüpft. Es ist daher unklar, ob die Zunahme der äquivalenten Branddauern in Bild 4.2 und 4.3 mit der Raumgröße eventuell eher auf den Einfluß der Ventilation zurückzuführen ist. Um die Auswirkungen den Einflüssen besser zuordnen zu können, wird die Raumgröße  $A$  nochmals zwischen  $150 \text{ m}^2$  und  $450 \text{ m}^2$ , bei  $2,5 \text{ m}$  Raumhöhe variiert. Die Ventilation wird jetzt aber mit den Werten für  $150 \text{ m}^2$  - d. h.  $3,9 \text{ m}^2$  und  $3000 \text{ m}^3/\text{h}$  - konstantgehalten.

Die äquivalenten Branddauern in Bild 4.6 sind mit Bild 4.2a zu vergleichen, wobei die unteren Kurven für den Raum mit  $150 \text{ m}^2$  identisch sind. Man erkennt, daß sich insbesondere bei dem Raum mit  $450 \text{ m}^2$  eine Reduktion der äquivalenten Branddauer um ca. 10 % ergibt. Eine solche Reduktion läßt sich auch aus Bild 4.5 ableiten, wenn man die Ventilationsöffnung von  $3,9 \text{ m}^2$  auf  $1,3 \text{ m}^2$ , d. h. bezogen auf die Grundfläche von 2,6 % auf 0,87 % verringert. Das entspricht genau den Verhältnissen bei dem Raum von  $450 \text{ m}^2$  mit  $3,9 \text{ m}^2$  statt zuvor  $11,7 \text{ m}^2$  Öffnungsfläche.

Mit dem Ventilationseinfluß ist also die scheinbar im Widerspruch zu DIN V 18230 /19/ stehende Zunahme der äquivalenten Branddauer mit der Raumgrundfläche noch nicht erklärbar. Sie beruht - wie bereits oben angedeutet - auf den speziellen Annahmen eines lokal begrenzten Brandes und sollte bei einem auf den gesamten Raum ausgedehnten Brand wegfallen. Dem wird in Abschnitt 4.4 gesondert nachgegangen.

#### 4.3.4 Raumhöhe

Die Bilder 4.2b und 4.3b deuten darauf hin, daß die äquivalenten Branddauern bei höheren Räumen in der Regel geringer als in niedrigen Räumen ausfallen. Dies beruht hauptsächlich darauf, daß in dem hohen Raum auf dem längeren Weg der Heißgase vom Brandherd zur Rauchgasschicht unter der Decke mehr kalte Umgebungsluft eingemischt wird, so daß sich eine niedrigere mittlere Temperatur in der Rauchgasschicht einstellt.

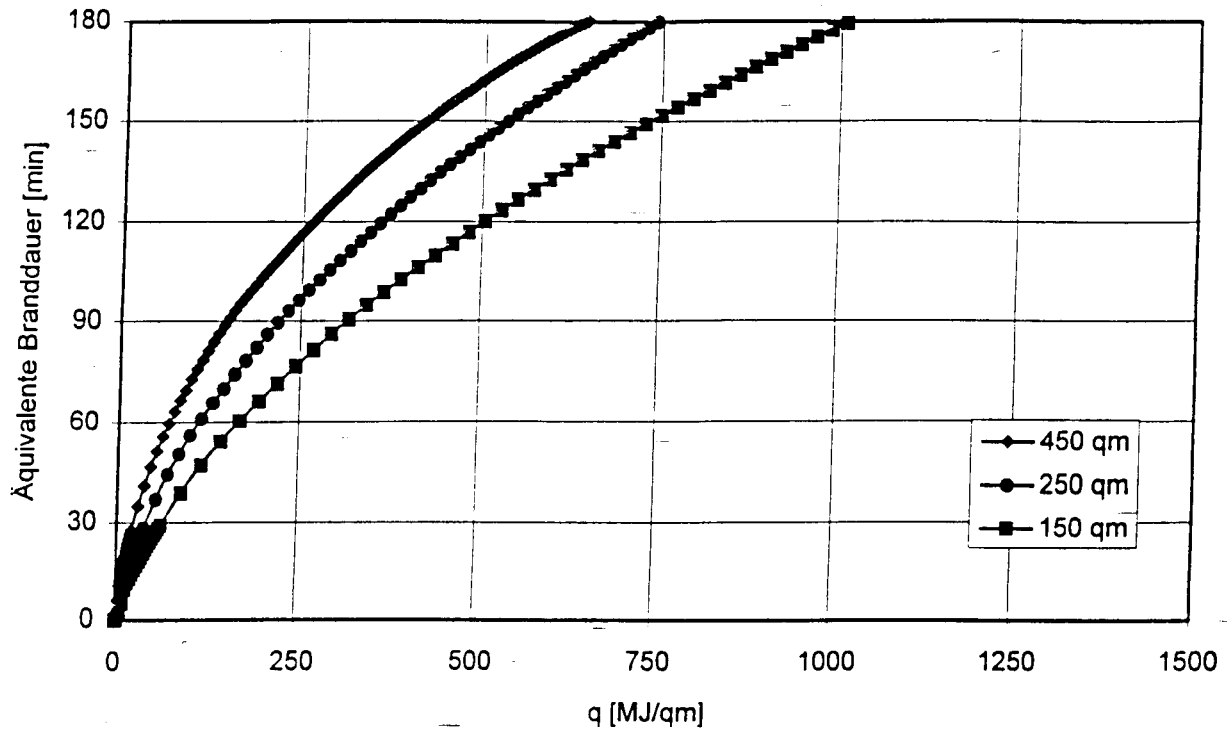


Bild 4.6 Äquivalente Branddauer bei Ölbränden in unterschiedlich großen Räumen mit 2,5 m Raumhöhe und 3,9 m<sup>2</sup> Ventilationsöffnung

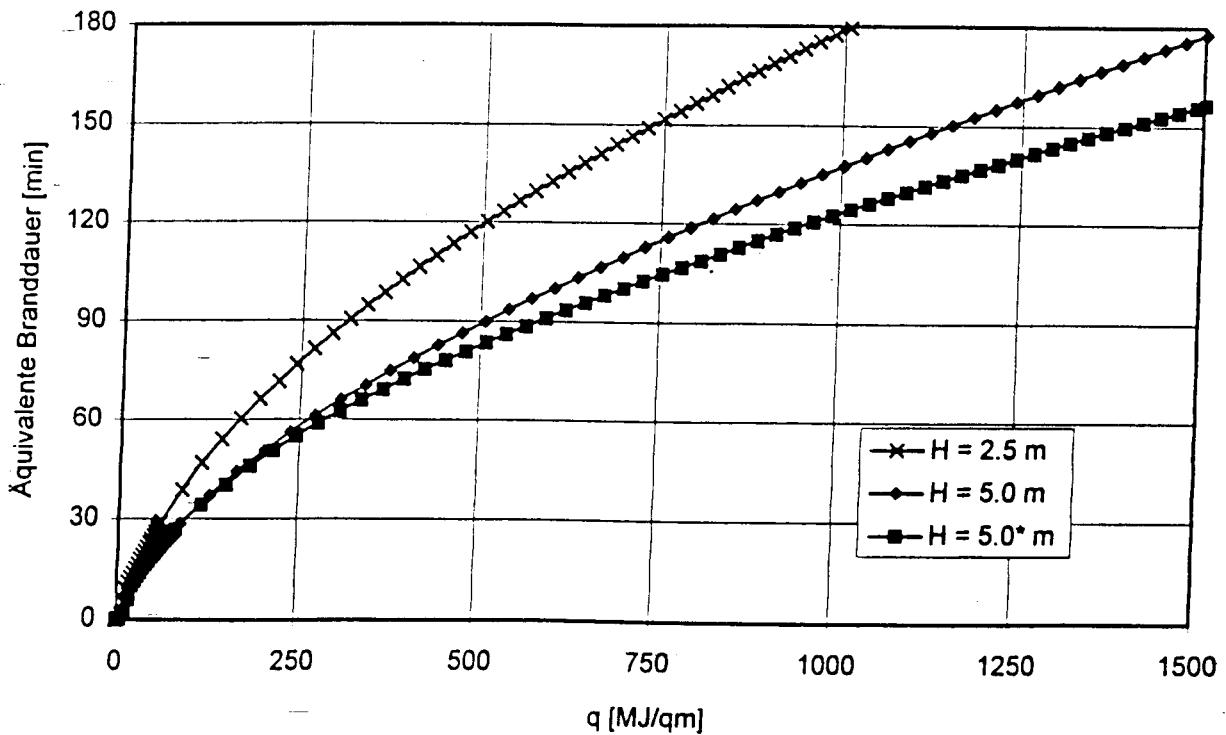


Bild 4.7 Äquivalente Branddauern bei Ölbränden in einem Raum mit 150 m<sup>2</sup> Grundfläche und unterschiedlichen Raumhöhen

In Bild 4.7 sind nochmals für den Raum mit 150 m<sup>2</sup> Grundfläche die äquivalenten Branddauern bei 2,5 m und 5,0 m Raumhöhe gegenübergestellt. Zusätzlich ist eine Kurve für den Raum mit 5,0 m angegeben, dessen Ventilationsöffnung genau die gleichen Abmessungen wie bei dem 2,5 m hohen Raum hat, d. h. nicht der größeren Raumhöhe angepaßt wurde (vgl. Abschnitt 2.2).

In früheren Untersuchungen im iBMB /20/ im Zusammenhang mit der Überarbeitung der DIN V 18230 /19/ wurde ein Näherungsansatz zur Berücksichtigung des Einflusses der Raumhöhe auf die äquivalente Branddauer hergeleitet:

$$t_{\ddot{a}}(H) = t_{\ddot{a}}(H_{\text{ref}}) \cdot \left( \frac{H_{\text{ref}}}{H} \right)^{0,3} \quad (4.1)$$

Setzt man darin  $H_{\text{ref}} = 2,5 \text{ m}$ , erhält man für  $H = 5,0 \text{ m}$

$$t_{\ddot{a}}(5,0 \text{ m}) = t_{\ddot{a}}(2,5 \text{ m}) \cdot 0,81.$$

Vergleicht man die äquivalenten Branddauern nach dieser Näherung mit den Werten nach Bild 4.7, so liegen sie um ca. 5 % höher als die mittlere Kurve  $H = 5,0 \text{ m}$ , die ihrerseits bezüglich des Einflusses der Höhe der Ventilationsöffnung konservativ ist. Damit können auf der Basis von Bemessungskurven für Räume von 2,5 m Höhe mit Hilfe von Gl. (4.1) in einfacher Weise auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse für andere Raumhöhen berechnet werden.

#### 4.4 Berechnung von großflächigen Bränden

Bei annähernd gleichförmig im Raum verteilten Brandlasten ist nicht davon auszugehen, daß der Brand auf einen Teilbereich des Raumes begrenzt bleibt. Vielmehr wird er sich - bei einem unter ungünstigen Umständen zu unterstellenden Ausfall der Brandbekämpfung - mehr oder weniger rasch im gesamten Raum ausbreiten. Um die ggf. von dem lokal begrenzten Brand abweichenden Brandwirkungen eines derartigen großflächigen Brandes zu bestimmen, werden die Annahmen zu den Räumen, Brandlasten und Ventilationsbedingungen gemäß Abschnitt 4.2 unverändert beibehalten. Es wird jedoch in der Frühphase des Brandes eine Brandausbreitung in vier horizontale Richtungen bis zu einer maximalen Brandfläche von ca. 2/3 der Raum-

grundfläche unterstellt. Die Aufteilung der zu untersuchenden Räume wird gegenüber den Vorgaben in Abschnitt 2.1 so abgeändert, daß unabhängig von der Grundfläche jeweils 3 Segmente vorhanden sind, wobei das mittlere Segment jeweils die Brandfläche  $A_b \approx 2/3 A$  umfaßt. Hier treten die ungünstigsten Brandwirkungen auf, die für die Bemessung heranzuziehen sind. Stellvertretend für die verschiedenen Brandlastarten werden Ölbrände untersucht.

In Bild 4.8 sind für die Räume mit  $150 \text{ m}^2$  und  $450 \text{ m}^2$  Grundfläche mit Raumhöhen von 2,5 m und 5,0 m die berechneten äquivalenten Branddauern der großflächigen Ölbrände aufgetragen.

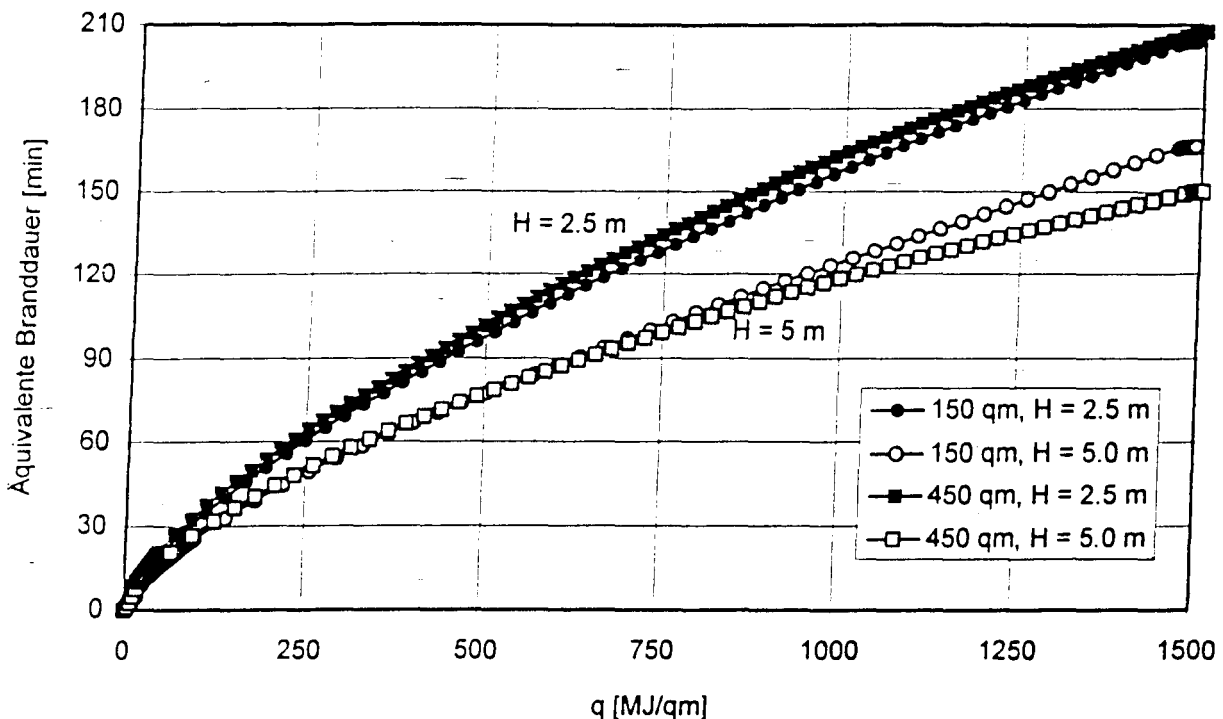


Bild 4.8 Äquivalente Branddauern bei Ölbränden in Räumen mit  $150 \text{ m}^2$  und  $450 \text{ m}^2$  Grundfläche sowie 2,5 m und 5,0 m Raumhöhe

Wie schon in Abschnitt 4.2 vermutet wurde, verschwindet jetzt weitestgehend die Abhängigkeit von der Raumgrundfläche  $A$ . Demgegenüber bleibt die Abhängigkeit von der Raumhöhe  $H$  erhalten. Für den kleineren Raum mit  $150 \text{ m}^2$  Grundfläche ergibt sich die geringere Abminderung, und zwar (gemittelt über die unterschiedlichen Brandlasten):

$$t_a(H = 5,0 \text{ m})/t_a(H = 2,5 \text{ m}) \approx 0,81.$$

Damit wird auch für die großflächigen Brände der Näherungsansatz Gl. (4.1) für die Abnahme der äquivalenten Branddauer mit der Raumhöhe /20/ als konservative Abschätzung bestätigt. Er kann als allgemeingültige, in der Regel leicht auf der sicheren Seite liegende Näherung zur Beschreibung des günstigen Einflusses größerer Raumhöhen auf die äquivalenten Branddauern gelten.

Nachdem sich für die großflächigen Brände der Einfluß der Raumgrundfläche  $A$  auf die äquivalente Branddauer als vernachlässigbar und der Einfluß der Raumhöhe  $H$  als hinreichend genau durch Gl. (4.1) abschätzbar erwiesen hat, bleibt von den in Abschnitt 4.3.1 aufgeführten wichtigen Parametereinflüssen lediglich noch die Ventilation offen. Um diesem Problem auf den Grund zu gehen, werden nochmals die großflächigen Ölbrände in den Räumen mit  $150 \text{ m}^2$  und  $450 \text{ m}^2$  Grundfläche bei 2,5 m und 5,0 m Raumhöhe (vgl. Bild 4.8) bei variiertter Größe der Öffnungsfläche  $A_v$  für die natürliche Ventilation berechnet.

Analog zu Bild 4.5 sind in Bild 4.9 bis 4.12 jeweils die äquivalenten Branddauern und die maximalen Abbrandraten für eine flächenspezifische Brandlast  $q = 1500 \text{ MJ/m}^2$  über der Ventilationsfläche  $A_v$  aufgetragen.

Auf den ersten Blick fällt auf, daß die äquivalenten Branddauern und Abbrandraten in Bild 4.9 und 4.5, die jeweils für den Raum von  $150 \text{ m}^2$  Grundfläche und 2,5 m Höhe gelten, sehr ähnlich sind. Die Werte für die äquivalente Branddauer beim großflächigen Brand liegen dabei bereichsweise bis zu 10 % niedriger, während gleichzeitig die Abbrandrate bis zu 25 % höher ist. Dies beruht auf der mit zunehmender Brandfläche anwachsenden Einmischung von kühler Umgebungsluft in den Plume-Massenstrom. Dadurch wird einerseits die Sauerstoffversorgung am Brandherd verbessert und die Verbrennung gefördert, andererseits nehmen der Massenstrom der aufsteigenden Heißgase und die Rauchgasschicht im Raum zu und deren mittlere Temperatur ab.

Dieser gegenläufige Effekt verstärkt sich noch bei größerer Raumhöhe, da hier über den längeren Strömungsweg der Heißgase vom Brandherd bis in die Rauchgasschicht noch mehr kühle Umgebungsluft eingemischt wird. Folglich sinken die Temperaturen bzw. äquivalenten Branddauern im Vergleich zu dem niedrigeren Raum bei wachsender Abbrandrate.

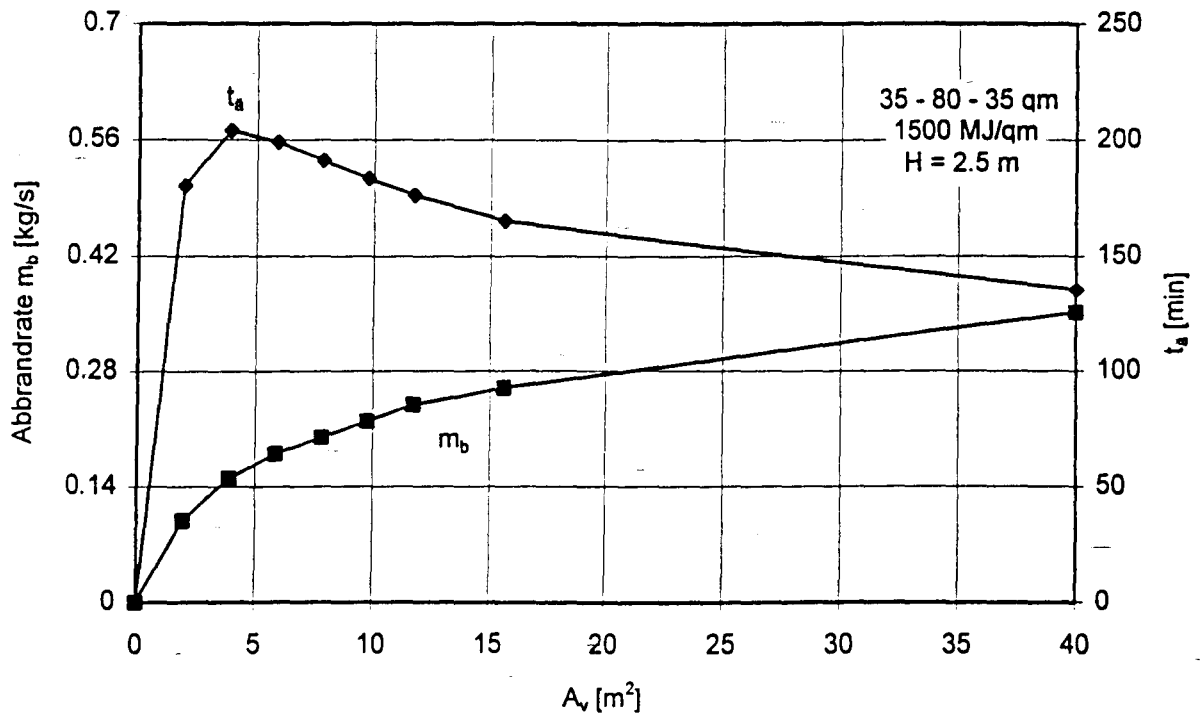


Bild 4.9 Abbrandrate (untere Kurve) und äquivalente Branddauer (obere Kurve) bei großflächigen Ölbränden in einem Raum von 150 m² Grundfläche und 2,5 m Höhe bei variiert Ventilationsöffnung  $A_v$

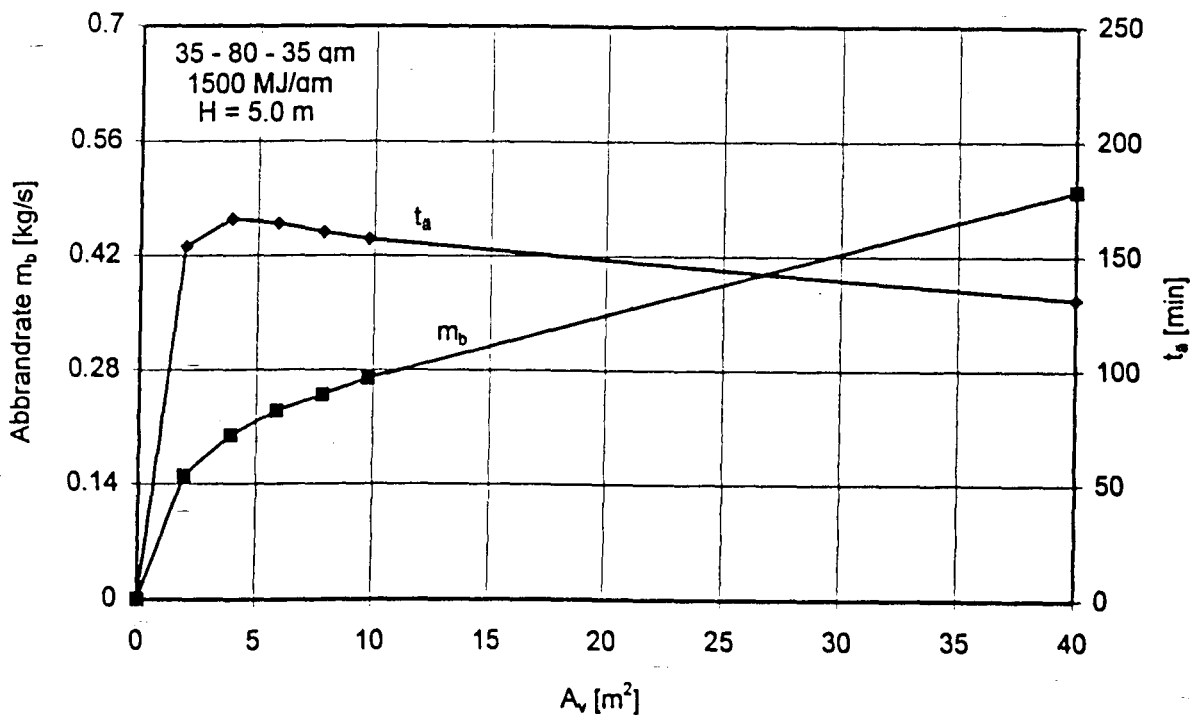


Bild 4.10 Abbrandrate (untere Kurve) und äquivalente Branddauer (obere Kurve) bei großflächigen Ölbränden in einem Raum von 150 m² Grundfläche und 5,0 m Höhe bei variiert Ventilationsöffnung  $A_v$

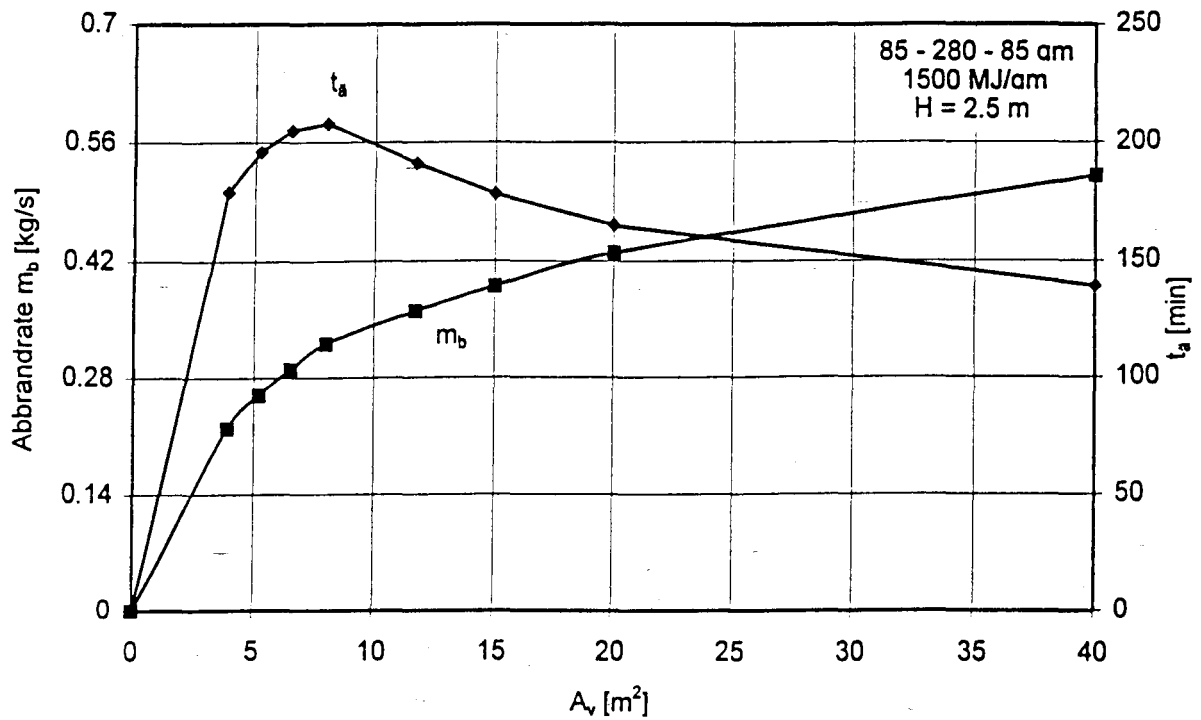


Bild 4.11 Abbrandrate (untere Kurve) und äquivalente Branddauer (obere Kurve) bei großflächigen Ölbränden in einem Raum von 450 m² Grundfläche und 2,5 m Höhe bei variiert Ventilationsöffnung  $A_v$

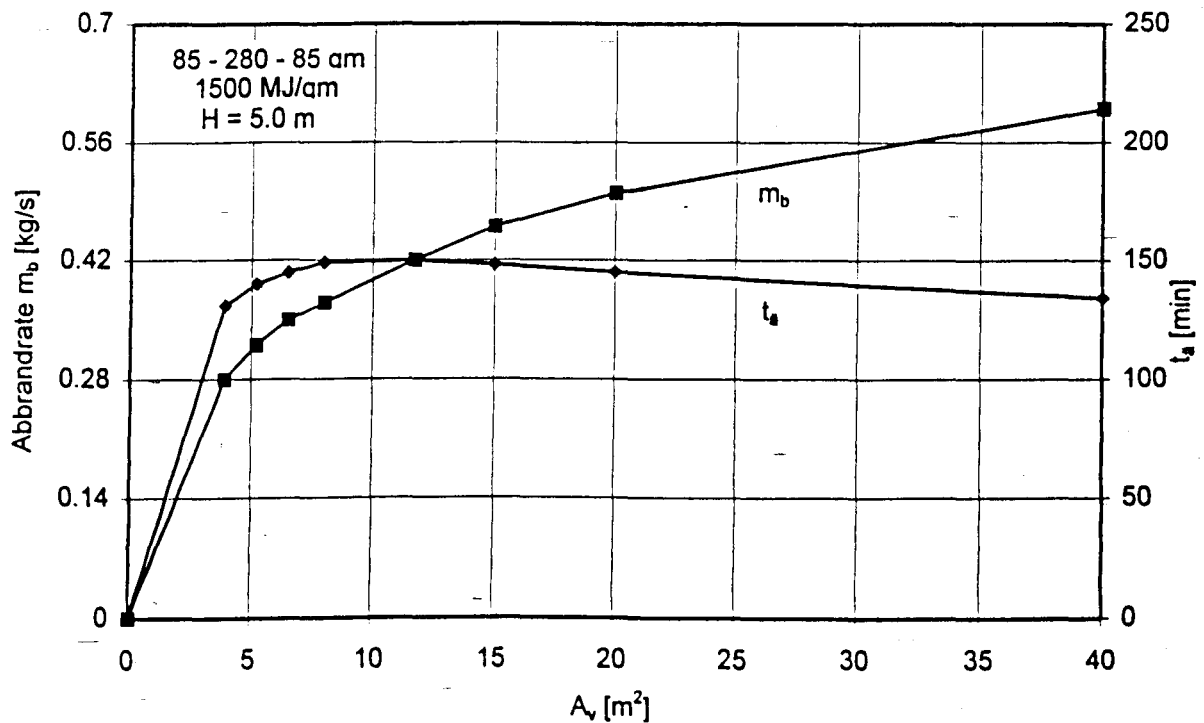


Bild 4.12 Abbrandrate (untere Kurve) und äquivalente Branddauer (obere Kurve) bei großflächigen Ölbränden in einem Raum von 450 m² Grundfläche und 5,0 m Höhe bei variiert Ventilationsöffnung  $A_v$

Wie bereits in Bild 4.5, hat auch in den Bildern 4.9 bis 4.12 die äquivalente Branddauer jeweils ein ausgeprägtes Maximum, das die „optimalen“ Ventilationsverhältnisse kennzeichnet. Der günstige Einfluß der Wärmeabfuhr mit zunehmender Ventilationsfläche schwächt sich allerdings bei den hohen Räumen deutlich ab. Das Maximum ist bei den lokal begrenzten und den großflächigen Bränden offensichtlich bei annähernd gleicher Größe der Ventilationsöffnungen zu erwarten, und zwar:

bei  $A = 150 \text{ m}^2$       im Bereich von     $A_v = 2 - 4 \text{ m}^2$     (1,3 - 2,7 %)  
bei  $A = 450 \text{ m}^2$       im Bereich von     $A_v = 5 - 10 \text{ m}^2$     (1,1 - 2,2 %).

Im Hinblick auf eine konservative Bauteilauslegung sollte in der Regel von diesen „optimalen“ Ventilationsverhältnissen ausgegangen werden. Hierfür sollen auch die erforderlichen Bemessungshilfen (z. B. gemäß Bild 4.8) zur Verfügung gestellt werden.

Wenn im Einzelfall die Größe der Ventilationsöffnungen genauer angegeben werden kann, dürfen die aus den Bemessungshilfen ablesbaren äquivalenten Branddauern unter Verwendung der Verläufe in Bild 4.5 bzw. Bild 4.9 bis 4.12 reduziert werden. Auf der sicheren Seite liegend kann für die unterschiedlichen Brandräume und Brandszenarien eine Umhüllende der relativen Abminderungen von  $t_k$  in Abhängigkeit der bezogenen Öffnungsfläche  $A_v/A$  konstruiert werden.

## **5 WERTUNG UND EMPFEHLUNGEN**

### **5.1 Wertung der durchgeführten Simulationsrechnungen**

Im Gegensatz zu den früheren Studien /1, 2/ wurden die Brandsimulationsrechnungen in Abschnitt 4 mit einem Mehrraum-Zonenmodell /15/ durchgeführt. Diese Art der Modellierung ist in der Lage, die Brandwirkungen auch bei einem fortentwickelten Brand in einem Teilbereich eines größeren Raumes realistisch vorherzusagen /16/. Dabei werden ggf. lokal deutlich höhere Temperaturen ermittelt als bei der Modellierung mit einem Einraum-Zonenmodell, das eine homogene Heißgasschicht im gesamten Raum voraussetzt.



Die Abweichungen von den mittleren Brandwirkungen nach der Einraum-Modellierung hängen vom Brandszenarium ab. Bleibt der Brand über den gesamten Verlauf auf einen Teilbereich des Brandraumes begrenzt, ergeben sich dort naturgemäß deutlich höhere Temperaturen und bei größeren Brandlastkonzentrationen auch sehr lange Branddauern. Breitet sich der Brand dagegen auf den gesamten Raum aus, so sind die Brandwirkungen und Branddauern in den Teilbereichen näherungsweise gleich; die Unterschiede in Abhängigkeit der Brandausbreitungsgeschwindigkeit sind ohne praktische Bedeutung.

Für eine konservative Betrachtung sollte zumindest bei größeren Räumen ( $A > 100 \text{ m}^2$ ) davon ausgegangen werden, daß die Gesamtbrandlast  $Q_{\text{ges}} = q \cdot A$  in einem Teilbereich des Raumes konzentriert sein und dort abbrennen kann. Hierfür können die äquivalenten Branddauern aus Bild 4.2 (für Ölbrände) und 4.3 (für Kabelbrände) entnommen werden.

Bezüglich der Ventilation sollte in der Regel von den ungünstigsten Verhältnissen entsprechend Abschnitt 4.4 ausgegangen werden. Bei dieser Vorgehensweise, die für die Erstellung der Bilder 4.2, 4.3 und 4.8 gewählt und mit den Bildern 4.5 sowie 4.9 bis 4.12 nachträglich gerechtfertigt wurde, erübrigt sich eine genauere Ermittlung von Leckageöffnungen für die natürliche Ventilation, die erfahrungsgemäß nur schwer abzuschätzen sind.

Der Einfluß der Raumgröße ist nur bei den lokal begrenzten Bränden von Bedeutung, wenn die gesamte Brandlast des Raumes auf einer Teilfläche konzentriert abbrennt (z. B. Spritzölleckage). Findet dagegen eine Brandausbreitung auf den gesamten Brandraum statt, dann ist der Einfluß der Grundfläche vernachlässigbar. Die von der Brandlastart und -anordnung abhängige Brandausbreitungsgeschwindigkeit wirkt sich nur in der Frühphase des Brandes auf die Bauteilbeanspruchung aus und hat daher bei größeren spezifischen Brandlasten und dementsprechend langen Branddauern kaum noch einen Einfluß.

Bei höheren Räumen sind die äquivalenten Branddauern (unter sonst gleichen Bedingungen) geringer als bei niedrigen Räumen. Unabhängig von den sonstigen Einflüssen, kann die Abminderung der äquivalenten Branddauer  $t_a$  mit zunehmender Raumhöhe  $H$  in Anlehnung an [20] genügend genau nach Gl. (4.1) abgeschätzt werden.

## 5.2 Einfluß unterschiedlicher Brandlasten

Die in Abschnitt 3 festgelegten Brandszenarien und zugeordneten Abbrandraten für Öl- und Kabelbrandlasten wirken sich aufgrund der durchweg ventilationsgesteuerten Brandverläufe relativ schwach auf die äquivalenten Branddauern aus (vgl. Bild 4.2 und 4.3). Insbesondere beeinflusst die bei den beiden Stoffen sehr unterschiedliche Brandausbreitungsgeschwindigkeit - wie gerade ausgeführt - nur in der Frühphase des Brandes die Bauteilerwärmung, spielt aber in der nahezu stationären Phase des vollentwickelten Brandes kaum noch eine Rolle.

Die geringeren äquivalenten Branddauern bei den Kabelbränden nach Bild 4.3 im Vergleich zu den Ölbränden gemäß Bild 4.2 sind primär auf die geringere Verbrennungseffektivität zurückzuführen, die mit  $X = 0,8$  äußerst konservativ angenommen wurde. In den Wärmebilanzberechnungen kann die Verbrennungseffektivität indirekt über einen erhöhten stöchiometrischen Luftbedarf  $SLB^* = SLB/X$  berücksichtigt werden, wobei SLB in Abhängigkeit des Heizwertes dem Bild 3.1 zu entnehmen ist.

In Bild 5.1 sind für den Brandraum mit  $150 \text{ m}^2$  und  $2,5 \text{ m}$  Höhe nochmals die in Bild 4.2 und 4.3 dargestellten äquivalenten Branddauern für Öl- und Kabelbrandlasten eingetragen; sie sind in der Legende als „Öl,  $SLB = 15,2$ “ bzw. „Kabel,  $SLB^* = 7,5$ “ ( $= 6,0/0,8$ ) gekennzeichnet. Zum Vergleich wurden die Kurven für  $SLB = 6,3$  und  $SLB = 6,0$ , also ohne Berücksichtigung der geringeren Verbrennungseffektivität, berechnet und zusätzlich eingezeichnet. Man erkennt, daß bei dem Kabelbrand mit  $SLB \approx 6,0$  praktisch die gleichen äquivalenten Branddauern wie bei dem Ölbrand erreicht werden.

Die zugehörigen Energiefreisetzungsraten sind aus Bild 5.2 zu ersehen. Offensichtlich wirkt sich die Verbrennungseffektivität im Mittel unterproportional auf die Energiefreisetzungsrate aus, während sie sich näherungsweise linear in die äquivalente Branddauer fortpflanzt.

Angeichts der Schwierigkeiten bei der Festlegung realistischer Abbrandraten und effektiver Heizwerte für alle praktisch vorkommenden Brandlastarten und -anordnungen sowie Brandintensitäten, scheint es praktikabler und im Hinblick auf die Genauigkeit allemal vertretbar, die äquivalenten Branddauern nur für eine repräsentative Brandlastart zu berechnen. Für andere Brandlastarten ergeben sich unter der

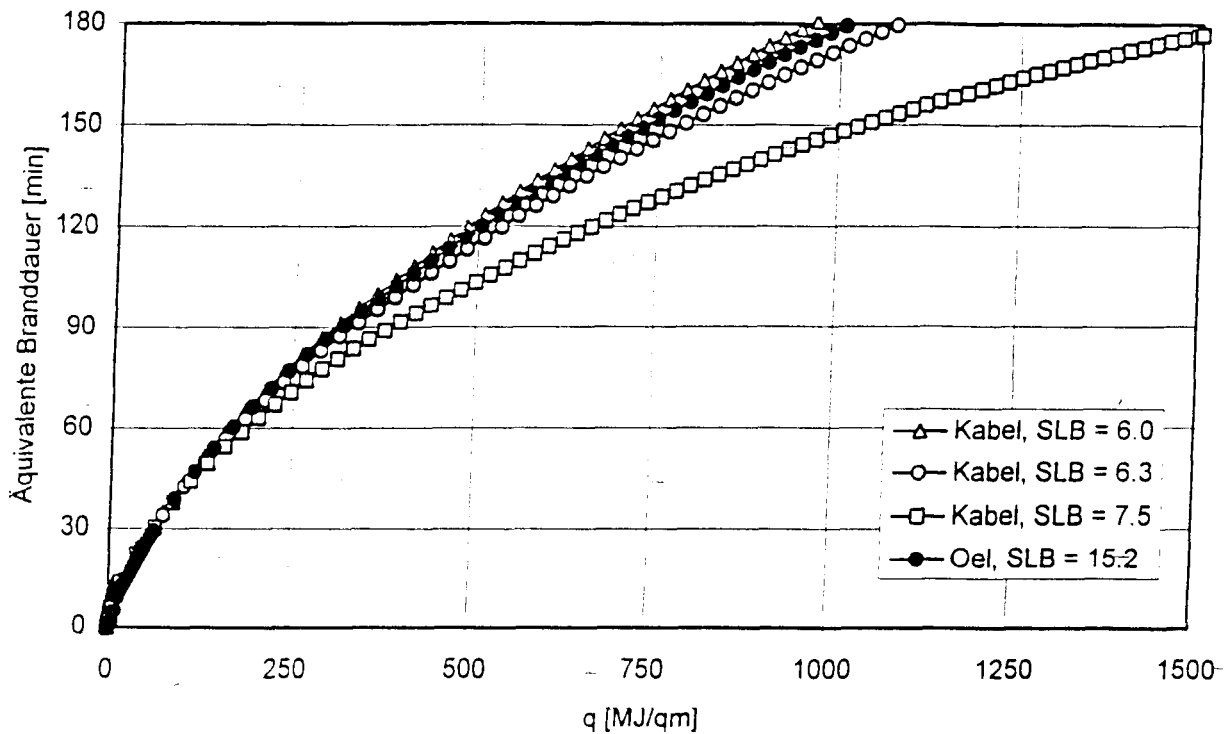


Bild 5.1 Äquivalente Branddauern bei lokal begrenzten Öl- und Kabelbränden in einem Raum von 150 m<sup>2</sup> Grundfläche und 2,5 m Höhe bei variiertem stöchiometrischem Luftbedarf SLB

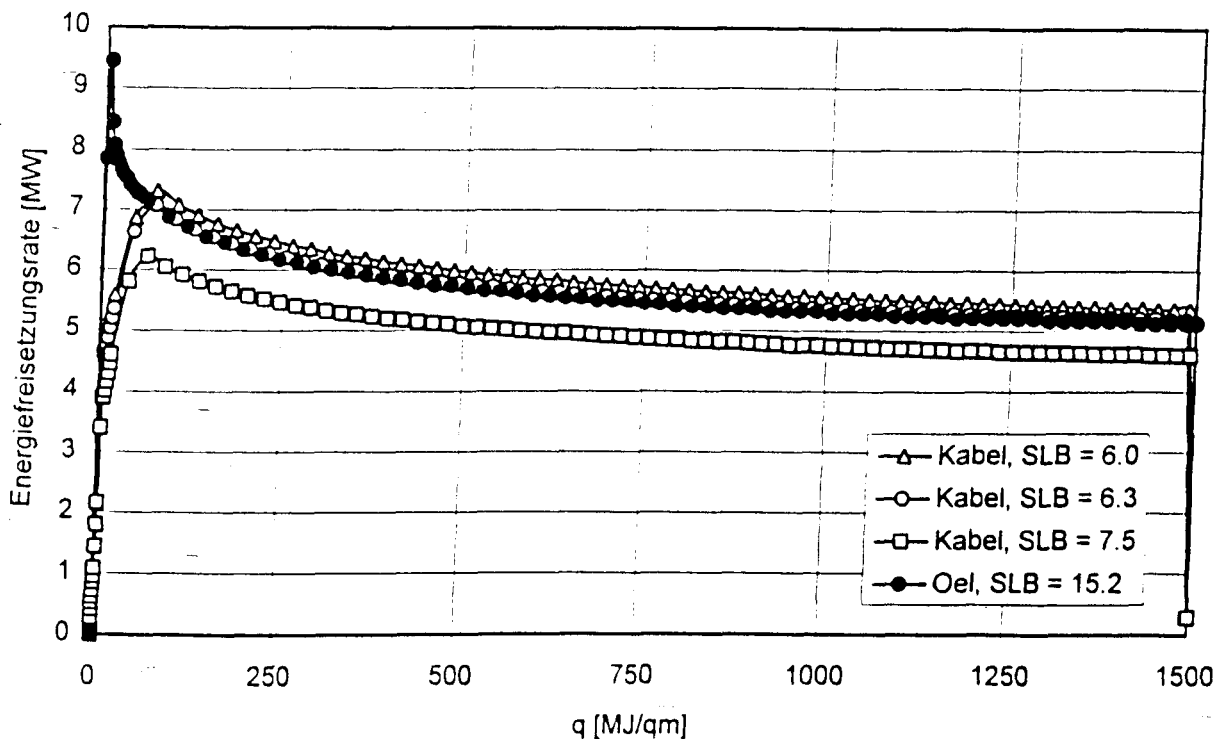


Bild 5.2 Energiefreisetzungsraten bei lokal begrenzten Öl- und Kabelbränden in einem Raum von 150 m<sup>2</sup> Grundfläche und 2,5 m Höhe bei variiertem stöchiometrischem Luftbedarf SLB

Voraussetzung gleicher Ventilation (d.h. Luftzufuhr) annähernd gleiche Energiefreisetzungsraten und damit äquivalente Branddauern, wenn die Verbrennungseffektivität gleich ist. Die Ursache dafür ist das annähernd konstante Verhältnis zwischen Heizwert und stöchiometrischem Luftbedarf (vgl. Bild 3.1).

Aufgrund der bekanntermaßen hohen Verbrennungseffektivität bietet sich Öl als repräsentative Brandlast für Brände in Kernkraftwerken an. Hierfür liegen auch aus der Literatur umfangreiche Informationen bezüglich des Abbrandverhaltens vor, so daß die Unsicherheiten der Eingangsdaten für die Wärmebilanzrechnungen vergleichsweise gering sind.

Als Alternative für den Bereich des konventionellen Hochbaus bieten sich sog. Holzkrippen (Kanthölzer 40 x 40 mm, geschichtet mit 50 % Lagerungsdichte) an, die im Rahmen von Brandversuchen häufig verwendet werden. Hierdurch wäre auch der Anschluß an das Nachweisverfahren nach DIN V 18230 /19/ hergestellt.

Andere Brandlasten können indirekt über experimentell zu ermittelnde Energiefreisetzungsraten bzw. Verbrennungseffektivitäten erfaßt werden. Ein entsprechendes standardisiertes Prüfverfahren in praktikablem Maßstab wird zur Zeit am iBMB entwickelt. Die äquivalenten Branddauern können näherungsweise im Verhältnis der Verbrennungseffektivitäten umgerechnet werden. Alternativ kann die als Leitparameter für die Bemessungshilfen verwendete flächenspezifische Brandlast  $q$  über die Verbrennungseffektivität modifiziert werden, wobei der Zusammenhang nichtlinear ist. Hierzu bedarf es jedoch noch weiterer Untersuchungen.

### **5.3 Verifikation anhand von Großversuchen**

Die Ermittlung von äquivalenten Branddauern für Raumbrände in Kernkraftwerken mit Hilfe der in Abschnitt 4.2 für lokal begrenzte Brände und in Abschnitt 4.4 für großflächige Brände bereitgestellten Bemessungsdiagramme kann zur Zeit noch nicht anhand relevanter Versuchsergebnisse für Öl- und Kabelbrände verifiziert werden, da derartige Versuche nur spärlich und für jeweils sehr spezielle Randbedingungen zur Verfügung stehen (vgl. Abschnitt 3). Dagegen liegen im iBMB aus Forschungsarbeiten im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 148 die Ergebnisse von 38 großmaßstäblichen Raumbrandversuchen mit Holzkrippen als Brandlast vor,

die in den achtziger Jahren in einer Versuchshalle in Finnland durchgeführt wurden /21, 22/. Dabei wurden durch direkte Messung an einem Vergleichsbau teil auch äquivalente Branddauern ermittelt, die der jeweiligen Raumgeometrie, Ventilation ( $A_v$ ) sowie Brandlastmenge ( $m_b$  bzw.  $q$ ) und -anordnung ( $A_b$ ) zugeordnet werden können. Einer von drei verschieden großen Brandräumen hatte in etwa die gleiche Grundfläche ( $A = 147 \text{ m}^2$ ) wie der hier untersuchte Raum mit  $150 \text{ m}^2$ . Die Raumhöhe lag mit  $H = 3,6 \text{ m}$  zwischen den untersuchten Höhen von  $2,5 \text{ m}$  und  $5,0 \text{ m}$ .

In Tabelle 5.1 sind die experimentell ermittelten äquivalenten Branddauern  $t_{a,exp}$  aus den 7 Versuchen in dem genannten Raum aufgelistet. Mit angegeben sind die variierten Brandlasten und Ventilationsverhältnisse. Den Versuchsergebnissen gegenübergestellt sind die aus Bild 4.2 bzw. Bild 4.8 abgelesenen und hinsichtlich der Raumhöhe (nach Gl. (4.1) Reduktion auf 90 %) und Ventilation (nach Bild 4.5 für lokal begrenzte Brände und nach Bild 4.9 für großflächige Brände) korrigierten äquivalenten Branddauern  $t_{a,lokal}$  bzw.  $t_{a,mittel}$ . Der Heizwert des verwendeten Fichtenholzes wurde mit  $16 \text{ MJ/m}^2$  und die Verbrennungseffektivität mit 1,0 angenommen.

Tabelle 5.1 Vergleich der experimentell ermittelten äquivalenten Branddauern  $t_{a,exp}$  nach /21/ mit den äquivalenten Branddauern  $t_{a,lokal}$  nach Bild 4.2 bzw.  $t_{a,mittel}$  nach Bild 4.8

Exper. Nr.	$m_b$ kg	$A_b$ $\text{m}^2$	$q$ $\text{MJ/m}^2$	$A_v$ $\text{m}^2$	$A_b/A$ -	$t_{a,exp}$ min	$t_{a,lokal}$ min	$t_{a,mittel}$ min
85/8	989	11,5	108	7,0	7,8	30	34	33
85/9	920	51,84	100	7,8	35,3	27	34	27,5
85/10	1815	103,68	198	7,8	70,6	50	54	44,6
86/1	940	51,84	102	3,0	35,3	38	39	27,7
86/2	900	51,84	98	3,0	35,3	36	39	27,7
86/3	1800	103,7	196	3,0	70,6	58	62	44,8
86/4	900	51,84	98	1,5	35,3	46	37	20,4

Die Brandflächen  $A_b$  entsprechen mit Ausnahme der Versuche 85/10 und 86/3 denen des lokal begrenzten Brandes, dessen äquivalente Branddauern sehr gut getroffen werden. Demgegenüber liegt die Berechnung der großflächigen Brände scheinbar etwas auf der unsicheren Seite. Diese Abweichung beruht jedoch darauf, daß die Umfassungsbauteile des Versuchsbrandraumes aus Porenbeton bestanden,

während in der Berechnung Beton unterstellt wurde. Die im Versuch gemessenen äquivalenten Branddauern lagen daher „planmäßig“ um ca. 25 - 30 % höher als die Rechenwerte. Der letzte Versuch paßt allerdings nicht in das Gesamtbild, weil sich trotz halbiertter Ventilation links vom Optimum eine deutlich höhere Bauteilbeanspruchung ergab als bei dem ansonsten identischen drittletzten Versuch.

Insgesamt hat die Nachrechnung der 7 Großbrandversuche in eindrucksvoller Weise die Leistungsfähigkeit des vorgeschlagenen Nachweisverfahrens unter Beweis gestellt. Obwohl die Verhältnisse in der Praxis nicht immer so überschaubar sind wie bei den Holzkrippenversuchen, dürfen dennoch auch bei Bränden mit anderen Brandlasten ähnlich realistische Ergebnissen erwartet werden.

## **6 VEREINFACHTES BRANDSCHUTZTECHNISCHES NACHWEISVERFAHREN**

### **6.1 Nachweiskonzept**

Aufgrund der Brandsimulationsrechnungen in Abschnitt 4 in Verbindung mit den Verallgemeinerungen bezüglich der Brandlasten in Abschnitt 5.3 wird für die praktische Bemessung von bautechnischen Brandschutzmaßnahmen in Kernkraftwerken das im folgenden erläuterte vereinfachte Nachweisverfahren vorgeschlagen. Eine Kurzbeschreibung des Verfahrens mit den wesentlichen Bemessungshilfen soll nach Verabschiedung im KTA-Arbeitskreis Grundlagen als Anhang zu KTA 2101.2 aufgenommen werden.

Grundlage für die Durchführung des Nachweises sind „Raumlisten“ mit den wesentlichen Angaben zur Geometrie der Räume, zu den Brandlasten (Massen und Heizwerte bzw. flächenspezifische Brandlasten) und zu den Ventilationsverhältnissen (Öffnungen, die im Brandfall planmäßig oder unplanmäßig offenstehen können, sowie Volumenstrom der Zwangsventilation oder Luftwechselzahl).

Eingangsgrößen für die Bemessung sind:

- die Raumgröße A (in m<sup>2</sup>),
- die Raumhöhe H (in m),

- die Summe natürlicher Ventilationsöffnungen  $A_v$  (in  $m^2$ ),
- der Zuluftstrom der Zwangsventilation  $\dot{V}_{zu}$  (in  $m^3/h$ )
- die (gleichmäßig verteilte) Brandlast  $q$  (in  $MJ/m^2$  oder  $kWh/m^2$ ) und
- die Masse  $M_i$  der dominierenden Brandlastart (Öl, Kabel usw. in kg).

Wenn keine zuverlässigen Angaben über die Gesamtgröße  $A_v$  der Ventilationsöffnungen vorliegen, ist stets von „optimalen“ Verhältnissen auszugehen, die in den Bemessungsdiagrammen (Bild 6.1 und 6.2) zugrundegelegt wurden.

Aus den Einzelmassen  $M_i$ , Heizwerten  $H_{ui}$  und Verbrennungseffektivitäten  $X_i$  der brennbaren Stoffe wird die Gesamtbrandlast  $Q_{ges}$  wie folgt ermittelt:

$$Q_{ges} = \sum_i M_i \cdot H_{ui} \cdot X_i \quad (6.1)$$

Hieraus ergibt sich die flächenspezifische Brandlast (Brandbelastung)

$$q = Q_{ges} / A \quad (6.2)$$

Für Öl- und Kabelbrandlasten können die Heizwerte  $H_{ui}$  und Verbrennungseffektivitäten  $X_i$  der Tabelle 3.1 entnommen werden. Generell muß die Verbrennungseffektivität  $X_i$  von Brandlasten aus Brandversuchen mit realistischen Anordnungen ermittelt werden. Entsprechende Brandversuche für weitere in Kernkraftwerken vorliegende Brandlasten wären noch durchzuführen.

Bei Mischbrandlasten ist - wenn hierfür spezielle Versuchsergebnisse fehlen - stets das Maximum der Verbrennungseffektivitäten der Einzelstoffe für alle brennbaren Stoffe anzunehmen. Im Falle von Öl-/Kabelbränden bedeutet dies, daß mit  $X = 1,0$  für die Gesamtbrandlast zu rechnen ist. Diese Annahme ist auch aufgrund von Versuchsergebnissen aus SR 144/1 /5/ gerechtfertigt, wo zum Teil ein Ölpoolfeuer als Primärbrand einen anschließenden Kabelbrand mit ungewöhnlich hoher Brandausbreitungsgeschwindigkeit auslöste.

Der Nachweis der äquivalenten Normbranddauer  $t_a$  als Kriterium für die zu erwartende Brandbeanspruchung von Bauteilen aufgrund eines natürlichen Brandverlaufes ist nun wie folgt durchzuführen:

Zunächst wird die äquivalente Branddauer  $t_{a,0}$  unter Voraussetzung ungünstigster Ventilationsverhältnisse aus einem der Bemessungsdiagramme in Bild 6.1 oder 6.2 (gleicher Inhalt in unterschiedlichem Maßstab) in Abhängigkeit der Brandbelastung  $q$  gemäß Gl. (6.2) abgelesen. Dabei werden folgende Fälle unterschieden:

- 1) gleichmäßig verteilte Brandlast  
(Grundlage ist Abschnitt 4.4,  $A = 450 \text{ m}^2$ ,  $A_b \approx 2/3 A$ )
- 2) ungleichmäßig verteilte Brandlast  
(Grundlage ist Abschnitt 4.2,  $A = 150 \text{ m}^2$ ,  $A_b < 1/3 A$ )
- 3) Punktbrandlast  
(Grundlage ist Abschnitt 4.2,  $A = 250 \text{ m}^2$ ,  $A_b < 1/5 A$ ).

Die Öffnungsflächen  $A_v$  für die natürliche Ventilation wurden jeweils so gewählt, daß sich die maximale äquivalente Branddauer ergab.

Die Diagramme gelten für eine Referenzraumhöhe  $H_{\text{ref}} = 2,5 \text{ m}$ . Für eine andere Raumhöhe  $H$  darf  $t_a$  nach Gl. (6.3) korrigiert werden:

$$t_a(H) = t_{a,0} \cdot f_H \quad \text{mit} \quad f_H = \left( \frac{H_{\text{ref}}}{H} \right)^{0,3} \quad (6.3)$$

Läßt sich die Gesamtfläche  $A_v$  der Öffnungen für die natürliche Ventilation eindeutig angeben, so kann mit dem Diagramm in Bild 6.3 geprüft werden, ob ggf. eine weitere Reduktion der äquivalenten Branddauer möglich ist.

Bild 6.3 wurde aus den Bildern 4.5 sowie 4.9 und 4.10 entwickelt. Dabei wurde gemäß Abschnitt 2.2 neben  $A_v$  eine Zwangsventilation mit dem Zuluftvolumenstrom  $\dot{V}_{\text{zu}} = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$  je  $50 \text{ m}^2$  Grundfläche unterstellt. Um auch den Fall, daß keine Zwangsventilation vorhanden ist, abdecken zu können, müssen daher die Abszissenwerte  $A_v$  in Bild 6.3 gegenüber der Ursprungsbildern vergrößert werden.



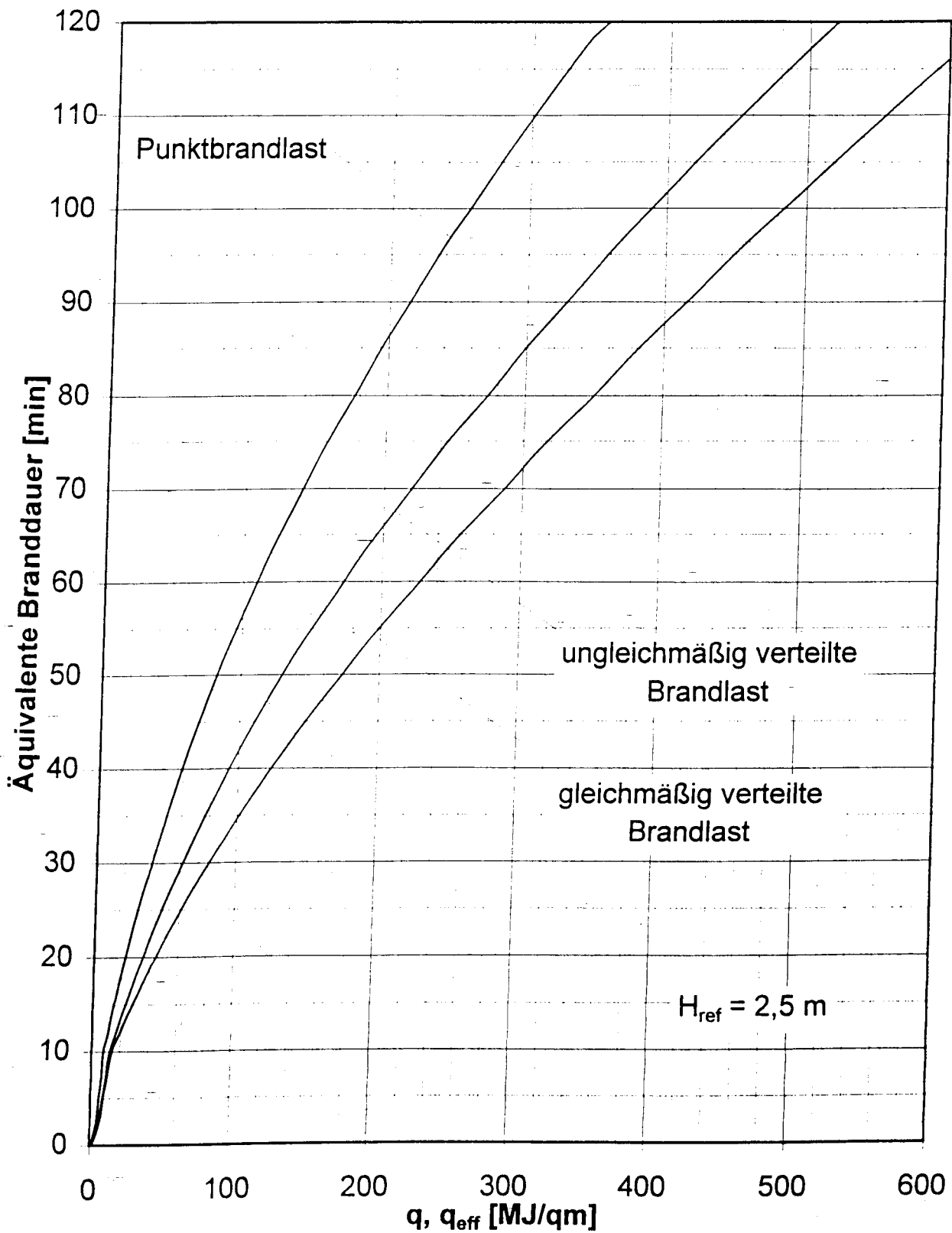


Bild 6.1 Äquivalente Branddauer als Funktion der Brandbelastung  $q$  bzw.  $q_{eff}$  für die drei Brandszenarien 1) - 3)

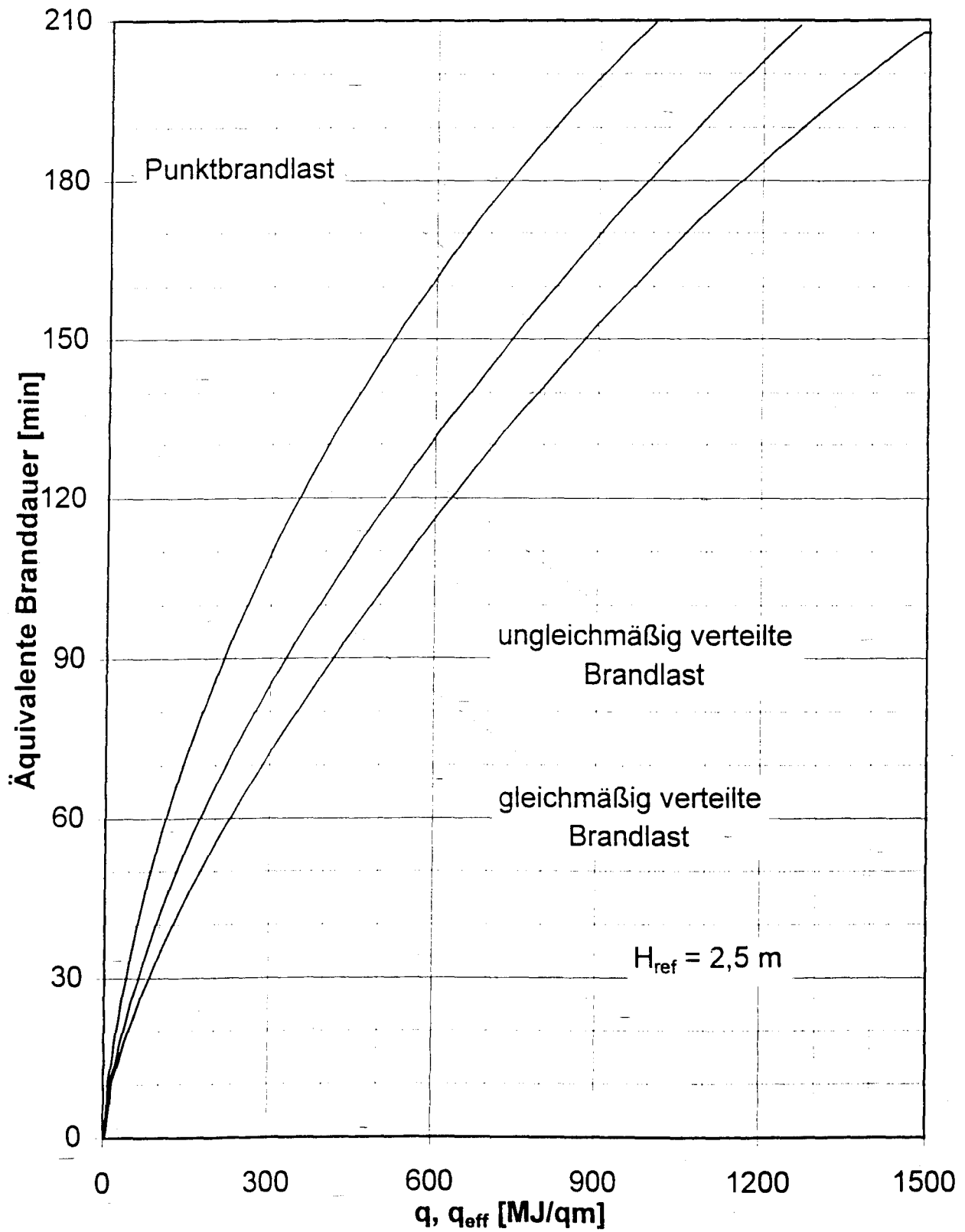


Bild 6.2 Äquivalente Branddauer als Funktion der Brandbelastung  $q$  bzw.  $q_{\text{eff}}$  für die drei Brandszenarien 1) - 3) - Analog zu Bild 6.1 mit anderem Maßstab

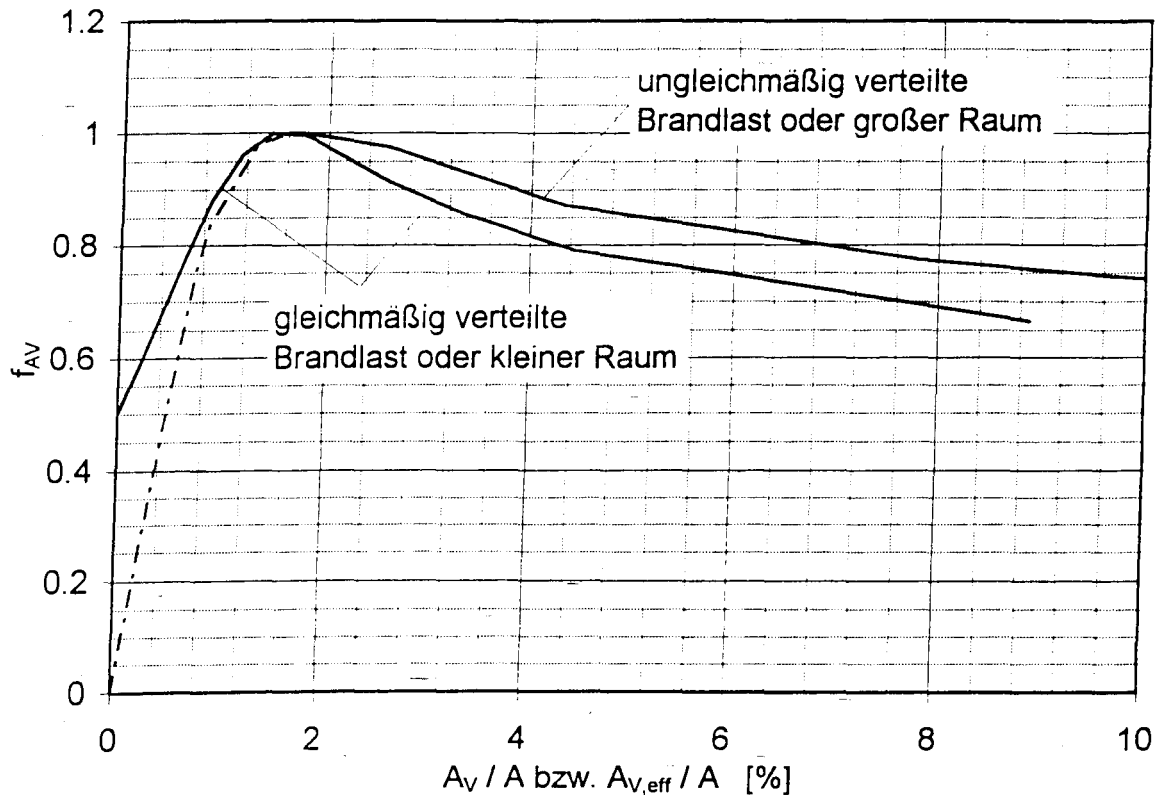


Bild 6.3 Korrekturfaktor  $f_{AV}$

Aufgrund von Vergleichsrechnungen mit und ohne Zwangsventilation hat sich folgender Korrekturterm in Abhängigkeit des Zuluftvolumenstroms  $\dot{V}_{zu}$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ergeben:

$$\Delta A_{zu} = \frac{\dot{V}_{zu}}{6000} \quad (\text{in m}^2). \quad (6.4)$$

Die Korrektur fällt relativ gering aus, weil bei den Berechnungen mit Zwangsventilation eine kurzfristige Absperrung des Abluftpfades, z. B. über eine thermisch ausgelöste Brandschutzklappe, unterstellt wurde.

Bei einer vorgegebenen Kombination aus natürlicher Ventilation und Zwangsventilation kann deren gemeinsame Wirkung über eine effektive Gesamtöffnungsfläche  $A_{v,eff}$  erfaßt werden:

$$A_{v,eff} = A_v + \Delta A_{zu} \quad (6.5)$$

Gl. (6.5) sollte nur angewendet werden, wenn das Verhältnis  $A_V/A$  unterhalb des Optimums ( $A_V/A \approx 1,6 \%$ ) in Bild 6.3 liegt.

Mit  $A_V$  bzw.  $A_{V,eff}$  läßt sich aus Bild 6.3 ein Korrekturfaktor  $f_{AV}$  für die Ventilationsverhältnisse ablesen. Angesichts der auch bei ansonsten dichter Umschließung eines Raumes stets vorhandenen Leckagen wurde der ansteigende Ast auf einen Mindestwert  $f_{AV} = 0,5$  bei  $A_V / A = 0$  angehoben.

Für den Fall, daß beide Korrekturfaktoren -  $f_H$  und  $f_{AV}$  - zu berücksichtigen sind, ergibt sich die äquivalente Branddauer aus der folgenden Gleichung:

$$t_a = t_{a,0} \cdot f_H \cdot f_{AV}$$

## 6.2 Berücksichtigung von Wärmesenken

### 6.2.1 Ausgangssituation und Vorgehensweise

Bei den Wärmebilanzrechnungen in Abschnitt 4 wurde neben dem Energieverlust durch Öffnungen (natürliche Ventilation) bzw. über die Lüftung (Zwangsventilation) auch der Wärmeübergang an die Baustrukturen betrachtet. Dazu wurde vorausgesetzt, daß die Wände und Decken homogen sind und aus Baustoffen mit mittlerem Wärmeeindringverhalten (wie Kiesbeton) bestehen.

Die Brandwirkungen im Brandraum werden dadurch verringert, daß die bei der Verbrennung der vorhandenen Brandlasten freiwerdende Wärmeenergie  $Q_{ges}$  zum Teil in die Umfassungsbauteile sowie in sonstige im Raum befindliche Körper wie Beton- oder Mauerwerkswände, massige Stahlkonstruktionen, Flüssigkeitsbehälter usw. (sog. Wärmesenken) eindringt.

Das Wärmeeindringverhalten kann bei homogenen Strukturen durch die sog. Wärmeeindringzahl  $b$  beschrieben werden, die wie folgt definiert ist:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c_p} \quad \text{in} \quad \text{s}^{-1/2} \cdot \text{J} / (\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (6.7)$$

Dabei bedeuten

$\lambda$  = Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]

$\rho$  = Dichte [kg/m<sup>3</sup>]

$c_p$  = spez. Wärmekapazität [J/(kg·K)].

Für die Umfassungsbauteile des Brandraumes wurde generell der Baustoff Beton mit den thermischen Kennwerten  $\lambda = 1,28 \text{ W/(m·K)}$ ,  $\rho = 2200 \text{ kg/m}^3$  und  $c_p = 879 \text{ J/(kg·K)}$  unterstellt. Für andere Baustoffe der Umfassungsbauteile kann näherungsweise eine Korrektur von  $t_a$  in Anlehnung an /28/ vorgenommen werden.

Typische Wärmesenken innerhalb von Raumbereichen in Kernkraftwerken sind:

- Betonbauteile wie Trennwände, Stützen u. ä. (mit der Oberfläche  $A_B$ ),
- Stahlbauteile wie Auflager- und Unterstützungsstrukturen, Schalen u. ä. (mit der Oberfläche  $A_S$ ),
- großvolumige Behälter für Flüssigkeiten (mit der Oberfläche  $A_F$ ).

Insgesamt setzen sich die Energieverluste  $Q_{\text{VERLUST}}$  an die verschiedenen Wärmesenken wie folgt zusammen:

$$Q_{\text{VERLUST}} = Q_B + Q_S + Q_F \quad (6.8)$$

Im folgenden wird in den herzuleitenden Beziehungen der Index „W“ stellvertretend für die verschiedenen Wärmesenken verwendet; er bedeutet im Einzelfall:

- B für Betonbauteile
- S für Stahlbauteile
- F für großvolumige Behälter von Flüssigkeiten.

Der Gesamtverlust  $Q_{\text{VERLUST}}$  wird von der Gesamtbrandlast  $Q_{\text{ges}}$  gemäß Gl. (6.1) abgezogen. Bezogen auf die Grundfläche  $A$  ergibt sich damit eine effektive Brandbelastung  $q_{\text{eff}}$ :

$$q_{\text{eff}} = q - \frac{Q_{\text{VERLUST}}}{A} \quad (6.9)$$

Mit dieser effektiven Brandbelastung  $q_{\text{eff}}$  ist die äquivalente Branddauer  $t_{a,0}$  erneut aus der entsprechenden Kurve in Bild 6.1 oder 6.2 abzulesen. Die Korrekturfaktoren  $f_H$  und  $f_{Av}$  gelten unverändert weiter, so daß sich die äquivalente Branddauer wiederum aus Gl. (6.6) ergibt.

Die Energieverluste an Wärmesenken (allgemein  $Q_W$ ) lassen sich mit folgender Beziehung abschätzen:

$$Q_W = M_W \cdot c_{p,W} \cdot (\bar{T}_{SW} - T_0) \quad (6.10)$$

Darin bedeuten

- $M_W$  = Masse des Bauteils [kg]
- $c_{p,W}$  = spezifische Wärmekapazität des Bauteils [J/kg K]
- $\bar{T}_{SW}$  = kalorische Mitteltemperatur des Bauteils [°C]
- $T_0$  = Betriebstemperatur des Bauteils [°C].

Die kalorische Mitteltemperatur  $\bar{T}_{SW}$  kann näherungsweise aus Bild 6.4 in Abhängigkeit von der zuvor (ohne Wärmesenken) berechneten äquivalenten Branddauer  $t_a$  abgelesen werden. Der für die verschiedenen Kurven bestimmende Scharparameter (zur Abkürzung  $\sigma_W$  genannt) ermittelt sich aus folgender Beziehung:

$$\sigma_W = \left( \frac{\alpha}{\rho \cdot c_p} \right)_W \cdot \left( \frac{A}{V} \right)_W \quad (6.11)$$

Als geometrische Größen werden hier die beflamnte Oberfläche  $A_W$  des Bauteils und das Bauteilvolumen  $V_W$  eingesetzt. Der Verhältnswert  $(A/V)_W$  entspricht dem Profilmfaktor  $U/A$ , der in DIN 4102 Teil 4, Abschnitt 6.1.2 als maßgebende Einflußgröße für das Brandverhalten stabförmiger Stahlbauteile dient.

Daneben werden folgende wärmetechnische Kennwerte der Bau- bzw. Inhaltsstoffe benötigt:

- $\alpha_w$  = Wärmeübergangskoeffizient [W/(m<sup>2</sup>·K)]
- $\rho_w$  = Dichte des Bauteils [kg/m<sup>3</sup>]
- $c_{p,w}$  = spezifische Wärmekapazität des Bauteils [J/(kg K)]

Die entsprechenden Zahlenwerte für die in Frage kommenden Stoffe können der Tabelle 6.1 entnommen werden. Der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_w$  wird für alle Stoffe einheitlich zu  $20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$  angenommen.

Tabelle 6.1: Wärmetechnische Kennwerte verschiedener Stoffe

Stoff	$\alpha_w$ $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$	$\rho_w$ $\text{kg/m}^3$	$c_{p,w}$ $\text{J/kg K}$
Beton	20	2200	879
Stahl	20	7850	600
Wasser	-	1000	4182
Öl	-	910	1880

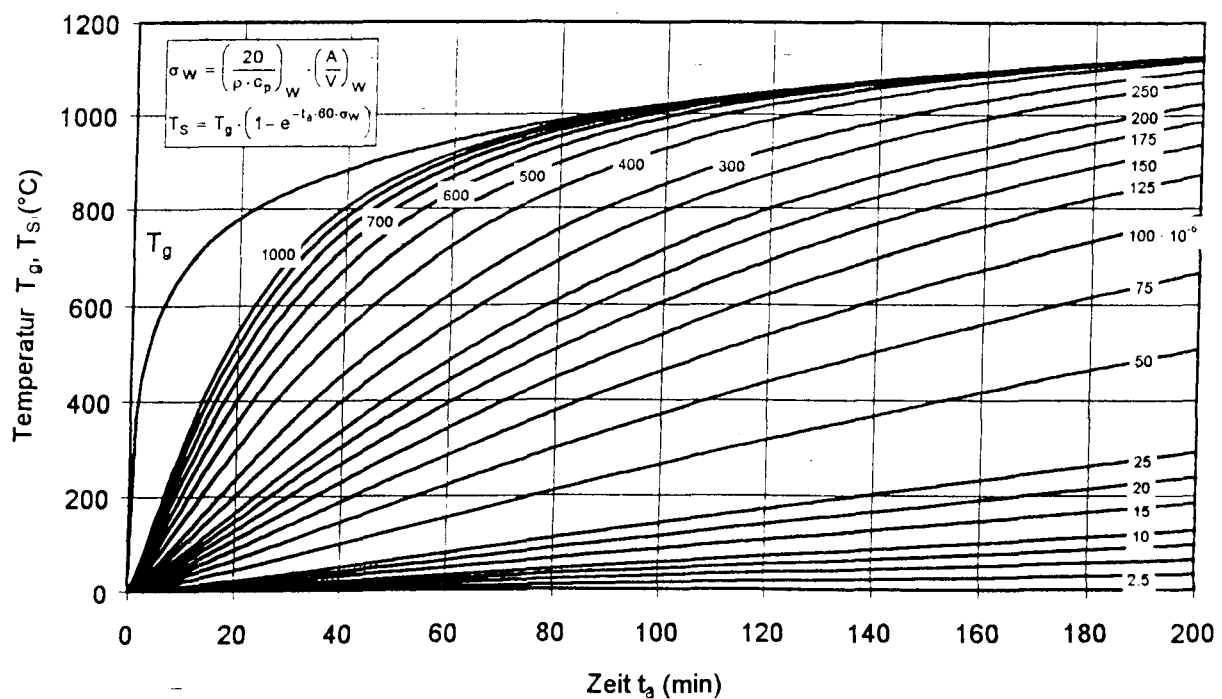


Bild 6.4: Kalorische Mitteltemperatur als Funktion von  $t_a$ ; Scharparameter  $\sigma_w$

Grundlage der Kurven im Bild 6.4 bildet die Gleichung (6.12), die bei Bedarf anstelle von Bild 6.4 zur Berechnung der kalorischen Mitteltemperatur eingesetzt werden kann:

$$\bar{T}_{sw} = T_g \left[ 1 - \exp \left( - \left( \frac{\alpha}{\rho \cdot c_p} \right)_{\bar{w}} \cdot \left( \frac{A}{V} \right)_w \cdot 60 \cdot t_a \right) \right] \quad (6.12)$$

Im Exponenten erkennt man den oben eingeführten Scharparameter  $\sigma_w$  wieder. Daneben geht die in Sekunden umgerechnete äquivalente Branddauer  $t_a$  aus der Vorberechnung ein. Die Heißgastemperatur  $T_g$  entspricht der Temperatur des Normbrandes nach einer Branddauer von  $t_a$  Minuten:

$$T_g = 20 + 345 \cdot \log (8 \cdot t_a + 1). \quad (6.13)$$

In einigen Raumbereichen, besonders im Reaktorgebäude, sind ausgedehnte Stahlflächen mit zum Teil größerer Wanddicke vorhanden. Für derartige Bauteile mit den Oberflächen  $A_s$  lohnt es sich, den Energieverlust nach Gln. (6.10) bis (6.13) abzuschätzen, wobei für den Quotienten  $(V/A)_w$  bei einseitiger Beflammung die Wanddicke des Bauteils  $d_s$  (in m) eingesetzt werden kann. Dünnwandige Stahlbauteile haben dagegen nur einen vernachlässigbaren Einfluß auf die Brandwirkungen im Raum.

Sollen mit Flüssigkeit gefüllte Behälter als Wärmesenke berücksichtigt werden, so sind gemäß Abschnitt 6.2.2 gewichtete Mittelwerte für Dichte und spezifische Wärmekapazität zu errechnen.

## 6.2.2 Besonderheit bei Flüssigkeitsbehältern

Großvolumige Flüssigkeitsbehälter, z. B. Ölbehälter oder wassergefüllte Tanks, sind im Brandfall erfahrungsgemäß wirksame Wärmesenken. Hierfür können Gln. (6.10) bis (6.13) ebenfalls sinngemäß angewandt werden. Für die Dichte  $\rho_F$  und die spezifische Wärmekapazität  $c_{p,F}$  sind hier über die Massenanteile gewichtete Mittelwerte einzusetzen, die wie folgt ermittelt werden.

Die gesamte Masse des Behälters  $M_{ges}$  setzt sich zusammen aus der Masse des Behälterinhaltes  $M_{FL}$  und der Masse der Behälterwandungen  $M_{BE}$ .

$$M_{ges} = M_{BE} + M_F \quad (6.14)$$



mit

$$M_{BE} = A_F \cdot d_{BE} \cdot \rho_{BE} \quad (6.15)$$

$$M_{FL} = V_F \cdot \rho_{FL} \cdot \eta / 100 \quad (6.16)$$

$A_F$  = Oberfläche des Behälters [ $m^2$ ]

$d_{BE}$  = Wandstärke der Behälterwandungen [ $m$ ]

$\rho_{BE}$  = Dichte der Behälterwandung [ $kg/m^3$ ]

$V_F$  = Behältervolumen [ $m^3$ ]

$\eta$  = durchschnittlicher Füllgrad des Behälters [%]

$\rho_{FL}$  = Dichte des Flüssigkeitsinhaltes

Die Massenanteile betragen:

$$\mu_{BE} = \frac{M_{BE}}{M_{ges}}; \quad \mu_{FL} = \frac{M_{FL}}{M_{ges}} \quad (6.17)$$

Damit ergeben sich die mittlere spez. Wärmekapazität  $c_{p,F}$  und die mittlere Dichte  $\rho_F$  des Flüssigkeitsbehälters nach folgenden Gleichungen:

$$c_{p,F} = \mu_{BE} \cdot c_{p,BE} + \mu_{FL} \cdot c_{p,FL} \quad (6.18)$$

$$\rho_F = \mu_{BE} \cdot \rho_{BE} + \mu_{FL} \cdot \rho_{FL} \quad (6.19)$$

$c_{p,BE}$  = spezifische Wärmekapazität der Behälterwandung

$c_{p,FL}$  = spezifische Wärmekapazität der Flüssigkeit

### 6.2.3 Wertung

Aufgrund theoretischer Überlegungen läßt sich die Energieaufnahme unterschiedlicher Strukturen in einem Brandraum einzeln erfassen und in ihrer Gesamtwirkung aufsummieren. Hierfür stellen die Gln. (6.2) bis (6.13) einen mit vergleichsweise geringem Aufwand gangbaren und auch von Laien nachvollziehbaren Weg dar. Als charakteristische thermodynamische Größe für eine Struktur wird die kalorische Mitteltemperatur  $\bar{T}_{SW}$  benutzt, in die neben der Raumtemperatur  $T_g$  die Abmessungen und wärmetechnischen Kennwerte der Strukturen (die jedem einschlägigen Handbuch zu entnehmen sind, z. B. /23/) sowie die zu erwartende äquivalente Branddauer  $t_a$  eingehen.

Mit der hergeleiteten Beziehung gelingt daher eine relativ rasche Abschätzung des Einflusses zusätzlicher Strukturen im Raum auf die Brandwirkungen und stellvertretend dafür auf die äquivalente Branddauer.

### 6.3 Probabilistisches Sicherheitskonzept

#### 6.3.1 Ausgangssituation und Vorgehensweise

Dem Nachweisverfahren in /1, 24/ liegt ein probabilistisches Sicherheitskonzept in Anlehnung an DIN V 18 230 /19, 28/ zugrunde. Es berücksichtigt

- die mittlere jährliche Eintrittshäufigkeit  $\lambda_1$  ( $1/a$ ) von Bränden in typischen Raumbereichen von Kernkraftwerken,
- die Ausfallwahrscheinlichkeit  $p_2$  der manuellen Brandbekämpfungsmaßnahmen im Anforderungsfall in Abhängigkeit von der Zugänglichkeit,
- die Ausfallwahrscheinlichkeit  $p_3$  einer vorhandenen ortsfesten Löschanlage im Anforderungsfall in Abhängigkeit vom Auslösezeitpunkt,
- die Wahrscheinlichkeit  $p_4$ , daß durch menschliche Fehler im Brandfall unplanmäßige Ventilationsverhältnisse (z. B. Offenstehen blockierter Brandschutztüren) vorliegen,
- die zufälligen Streuungen der äquivalenten Branddauer  $t_a$  und der Feuerwiderstandsdauer  $t_f$  bautechnischer Brandschutzmaßnahmen aufgrund unsicherer Randbedingungen bzw. Herstellungstoleranzen,
- die zulässige Versagenswahrscheinlichkeit der auszulegenden bautechnischen Brandschutzmaßnahmen aufgrund ihrer Bedeutung für Anlagensicherheit und ggf. Personenschutz.

Unter Beibehaltung der Grundzüge des Sicherheitskonzeptes aus /1, 24/, einschließlich der Streuungsannahmen für  $t_a$  und  $t_f$ , wurden unter Berücksichtigung von ausgewerteten Betriebserfahrungen aus deutschen Kernkraftwerken /25, 26/ die Sicherheitsbeiwerte  $\gamma$  neu hergeleitet /1/.

### 6.3.2 Brandeintrittshäufigkeiten in Kernkraftwerken

Grundlage für die Ermittlung der Eintrittshäufigkeiten  $\lambda_1$  von Entstehungsbränden /1, 24/ waren umfangreiche Daten aus amerikanischen Kernkraftwerken, die in /27/ auf deren Übertragbarkeit auf deutsche Kernkraftwerke eingehend überprüft wurden.

Es wurde in /1, 24/ für die Bemessung von Bauteilen in einem von mehreren gleichartigen Raumbereichen in einer Kraftwerksanlage eine Wichtung nach dem Verhältnis der Teilfläche  $A_0$  zur Gesamtfläche  $A_{\text{ges}}$  vorgenommen. Diese resultierte in Brandeintrittshäufigkeiten für einzelne Raumbereiche, die sich nur noch relativ wenig unterschieden. Deshalb wurde im Sicherheitskonzept schließlich nur noch mit einem mittleren Wert für  $\lambda_1$  weitergearbeitet:

$$\lambda_1 = 3 \cdot 10^{-3} (1/a). \quad (6.20)$$

Eine nochmalige Auswertung der statistischen Daten zur Brandeintrittshäufigkeit in /25/ ergab keine wesentlichen neuen Erkenntnisse, zumal spezifische deutsche Daten - die mehrfach seitens der VGB angekündigt wurden - noch immer nicht vorliegen. Die Risikoanalysen in /25/ wurden schließlich mit folgenden Zahlenwerten für  $\lambda_1$  durchgeführt:

- |   |  |
|---|--|
| - Ölbrand im Sicherheitsbehälter:             | $\lambda_1 = 4,4 \cdot 10^{-3} (1/a)$  |
| - Kabelbrand in Räumen mit Kabelverteilungen: | $\lambda_1 = 2,5 \cdot 10^{-3} (1/a).$ |

Diese Werte weichen von der bisherigen Annahme nach Gl. (6.20) nur unwesentlich ab, so daß eine Korrektur bezüglich  $\lambda_1$  nicht angezeigt erscheint.

### 6.3.3 Zuverlässigkeit aktiver Brandschutzmaßnahmen

Die Ausfallwahrscheinlichkeiten manueller Brandbekämpfungsmaßnahmen ( $p_2$ ) und ortsfester Löschanlagen ( $p_3$ ) wurden in /1, 24/ aufgrund eingehender Literaturrecherchen in /27/ angenommen. Dabei wurden sowohl ausländische, als auch inländische Daten ausgewertet. Es zeigte sich, daß die Zuverlässigkeit der Brandbekämpfungsmaßnahmen maßgeblich vom Zeitverzug bis zu deren Wirksamwerden

abhängt. Manuelle Brandbekämpfungsmaßnahmen fallen daher in Raumbereichen mit erschwerter Zugänglichkeit und zum Teil längeren Anmarschwegen (z. B. im Kontrollbereich) mit großer Wahrscheinlichkeit aus.

Aufgrund von Diskussionen mit dem Betriebspersonal von Kernkraftwerken über realistische Zeiten für einen manuellen Löschangriff bzw. die manuelle Auslösung von ortsfesten Löschanlagen wurden die in Tabelle 6.1 zusammengefaßten Ausfallwahrscheinlichkeiten geschätzt und im Sicherheitskonzept /1, 24/ berücksichtigt.

Tabelle 6.2      Mittlere Ausfallwahrscheinlichkeiten  $p_2$  und  $p_3$  der Brandbekämpfung in Abhängigkeit vom Zeitpunkt des Wirksamwerdens nach /1, 24/

Fall	Art der Brandbekämpfung	Zeitpunkt des Wirksamwerdens min	Ausfallwahrscheinlichkeit	
			$p_2$	$p_3$
A	manuell	> 10 min	0,8	-
B	manuell	< 10 min	0,5	-
C	Löschanlage	< 10 min	-	0,2
D	Löschanlage	< 2 min	-	0,05

Im Fall D, der praktisch einer automatisch ausgelösten Löschanlage entspricht, spielt nur noch die Wahrscheinlichkeit eines technischen Versagens der Löschanlage eine Rolle, während in allen anderen Fällen ausschließlich die Ausfallwahrscheinlichkeit der notwendigen menschlichen Handlung maßgebend ist.

Eine wichtige Größe war bei der Bewertung der Wahrscheinlichkeit  $p_4$  unplanmäßiger Ventilationsverhältnisse, die einen heftigeren Brandverlauf verursachen können, die Wahrscheinlichkeit, daß Brandschutztüren im Brandfall offenstehen oder Brandschutzklappen nicht oder erst zu spät geschlossen werden. Unter Berücksichtigung von jeweils 5 % Wahrscheinlichkeit für technisches Versagen (z. B. von Feststellanlagen) oder für Fehlbedienung (z. B. Festkeilen oder Außerbetriebnahme) wurde dafür in /27/  $p_4 = 0,07$  geschätzt.

Die Auswertungen von Betriebserfahrungen in deutschen Kernkraftwerken /26/, insbesondere anhand der Ergebnisse von wiederkehrenden Prüfungen an den

Brandschutzeinrichtungen zweier Kraftwerksanlagen, haben partiell die von Betreiberseite behauptete höhere Zuverlässigkeit im Vergleich zum allgemeinen industriellen Brandschutz bestätigt. Bei den Brandschutztüren - als Ursache für unplanmäßige Ventilation und ggf. direkte Brandausbreitung - kann die Ausfallwahrscheinlichkeit auf den Wert nach /26/ für ferngesteuerte Türen

$$p_4 = 0,025 \text{ (pro Anforderung)} \quad (6.21)$$

gesenkt werden. Dieser Wert kann näherungsweise auch für normale Brandschutztüren angesetzt werden, sofern durch die Brandschutzordnung eine regelmäßige Überprüfung sichergestellt ist und Fehlbedienungen ausgeschlossen werden.

Bei den Löschanlagen kann der Wert  $p_3$  aufgrund statistischer Auswertungen der Sachversicherer im Fall D auf 0,01 gesenkt werden. Im Fall C kann  $p_3 = 0,1$  angesetzt werden, wenn eindeutige Regelungen in der Brandschutzordnung ein Wirksamwerden von manuell ausgelösten Löschanlagen innerhalb von 10 min sicherstellen.

#### 6.3.4 Wertung

Die Sicherheitsanforderungen für die brandschutztechnische Bemessung von bautechnischen Brandschutzmaßnahmen wurden in /1, 24/ im Rahmen eines probabilistischen Sicherheitskonzeptes ermittelt. Dabei wurden die damals aus /27/ verfügbaren Informationen zur Brandeintrittshäufigkeit in Kernkraftwerken, zur Zuverlässigkeit aktiver Brandschutzmaßnahmen und zur Möglichkeit unplanmäßiger Lüftungsverhältnisse durch Offenstehen von Brandschutztüren oder -klappen als Eingangsdaten verwendet.

Aufgrund von Auswertungen der GRS in /25, 26/ hat sich die als Mittelwert für alle Raumbereiche der sicherheitstechnisch wichtigen Gebäude angesetzte Brandeintrittshäufigkeit von  $\lambda_1 = 3 \cdot 10^{-3}$  pro Jahr bestätigt. Die angenommenen Ausfallwahrscheinlichkeiten von Löschanlagen und von Brandschutztüren konnten dagegen nach unten korrigiert werden, wobei allerdings Unsicherheiten bezüglich der Auslösung bzw. Bedienung durch eindeutige Anweisungen in der Brandschutzordnung ausgeschlossen werden müssen.

Mit den überarbeiteten Eingangsdaten wurden neue Sicherheitsbeiwerte  $\gamma$  für die Bemessung berechnet. Abweichend von den Annahmen in /1, 24/, wurden dabei die Sicherheitsanforderungen nicht mehr nach zwei Gefährdungsklassen abgestuft, sondern entsprechend dem Konzept der DIN 18 230 /19, 28/ nach drei Brandsicherheitsklassen ( $SK_b$  3 bis 1). Die zulässigen Versagenswahrscheinlichkeiten infolge Brand wurden nach /28/ festgelegt. Die neuen Sicherheitsbeiwerte (Tabelle 6.3) liegen insgesamt etwas, bei Brandbekämpfung mit Löschanlagen deutlich unter den Werten aus /1, 24/.

Die Brandsicherheitsklasse  $SK_b$  3 gilt für Bauteile, die Brandbekämpfungsabschnitte trennen oder die trennende Bauteile unterstützen. Abschlüsse von Öffnungen oder Abschottungen von Leitungsdurchführungen in derartigen Bauteilen gehören der  $SK_b$  2 an; untergeordnete Bauteile mit Feuerwiderstandsanforderungen, z. B. Teile des Nebentragwerks, zählen zur  $SK_b$  1.

Die erforderliche Feuerwiderstandsdauer  $erf\ t_f$  der bautechnischen Brandschutzmaßnahmen ergibt sich aus der äquivalenten Branddauer  $t_a$  durch Multiplikation mit dem Sicherheitsbeiwert  $\gamma$  gemäß Tabelle 6.3:

$$erf\ t_f = \gamma \cdot t_a \quad (6.22)$$

Tabelle 6.3 Sicherheitsbeiwerte  $\gamma$  für die brandschutztechnische Auslegung von bautechnischen Brandschutzmaßnahmen in Kernkraftwerken

Brandbekämpfung Fall	Ventilation	Brandsicherheitsklasse		
		$SK_b$ 3	$SK_b$ 2	$SK_b$ 1
A	p	1,45	1,1	0,7
	u	0,85	0,5	0,5
B	p	1,35	1,0	0,6
	u	0,80	0,5	0,5
C	p	1,1	1,0	0,5
	u	0,5	0,5	0,5
D	p	0,75	0,5	0,5
	u	0,5	0,5	0,5

p = planmäßig,  $p_4 = 1,0$   
u = unplanmäßig,  $p_4 = 0,025$

## 7 ZUSAMMENFASSUNG

In der hier vorgelegten Studie im Auftrag des BMU wird das erstmals 1987 in /2/ vorgeschlagene und 1990 in /1/ fortgeschriebene vereinfachte brandschutztechnische Nachweisverfahren für die Bemessung bautechnischer Brandschutzmaßnahmen in Kernkraftwerken aufgrund zwischenzeitlich ausgewerteter Brandversuchsergebnisse und umfangreicher Brandsimulationsrechnungen mit einem modernen Mehrraum-Mehrzonenmodell von Grund auf überarbeitet.

Konsequenter als in den früheren Untersuchungen werden die realen Verhältnisse in Kernkraftwerksräumen hinsichtlich Raumgeometrie, Ventilation und Brandlasten nach den Angaben von Kernkraftwerksherstellern und -betreiber berücksichtigt. Die für die Berechnungsergebnisse entscheidenden, aber nur mit größeren Unsicherheiten angebbaren Energiefreisetzungsrate bei Öl- und Kabelbränden werden anhand der ausgewerteten Großbrandversuche umfassender beschrieben. Hierbei werden auch die im Rahmen des Vorhabens geplanten und betreuten ergänzenden Brandversuche an Kabelanordnungen mit und ohne Schutzsystem einbezogen, um systematische Parametereinflüsse besser zu erfassen.

Die Brandsimulationsrechnungen nach dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik unterscheiden sich in einigen wesentlichen Punkten von den früheren Berechnungen. Zum einen können durch die rechnerische Unterteilung des Brandraumes die höheren Brandbeanspruchungen im Bereich des Brandherdes realistischer ermittelt werden, während bei der klassischen Einraummodellierung nur mittlere Beanspruchungen für den gesamten Raum ausgewiesen werden. Zum anderen werden die Mischungsvorgänge zwischen Heißgasschicht und kälterer Luftschicht umfassender modelliert, was sich auch auf die Energiefreisetzungsrate und damit auf die Brandwirkungen auswirkt. Zum anderen werden die einzelnen Phänomene und Einflußgrößen des Brandgeschehens systematisch analysiert. Dadurch gelingt es, einen großen Teil der maßgebenden Einflüsse entweder verallgemeinerbar darzustellen oder zur sicheren Seite abzuschätzen. Auf diese Weise können die Grundlagen für eine praxisgerechte brandschutztechnische Bemessung in einigen wenigen Bemessungshilfen und empirischen Beziehungen konzentriert angegeben werden.

Das vereinfachte Nachweisverfahren lehnt sich formal an die Empfehlungen der Studie /1/ an, geht jedoch hinsichtlich der vollständigen Erfassung aller wesentlichen

Parameter und Allgemeingültigkeit - auch für unterschiedliche Brandlasten - weit darüber hinaus. Hinzu kommt, daß die Bemessungsergebnisse durchweg günstiger ausfallen. Damit sind jedoch keine Abstriche im angestrebten Sicherheitsniveau in Kauf zu nehmen, wie durch die erfolgreiche Nachrechnung von 7 großmaßstäblichen Brandversuchen mit Holzkrippen als Brandlast eindrucksvoll belegt wird; vielmehr werden den bisherigen Berechnungen anhaftende Unzulänglichkeiten, die zum Teil zu unrealistisch hohen und nicht praxisgerechten äquivalenten Branddauern führten, ausgeräumt.

Im Hinblick auf die Vorgabe der Eingangsdaten für die Bemessung wird darauf hingewiesen, daß nach dem heutigen Kenntnisstand zum Teil noch konservative Abschätzungen, insbesondere bei der Energiefreisetzungsrate bzw. Verbrennungseffektivität der typischen Brandlasten, erforderlich sind. Hier können experimentelle Untersuchungen, die derzeit am iBMB konzipiert werden, ggf. deutlich günstigere Annahmen rechtfertigen.



## 8 SYMBOLVERZEICHNIS

Symbol	Bedeutung
$A$	Grundfläche
$A_b$	brennende Fläche
$A_v$	Fläche der Ventilationsöffnung
$A_{v,eff}$	effektive Gesamtöffnungsfläche gemäß Gl. (6.5)
$A_W$	(beflammte) Oberfläche von Bauteilen (Wärmesenken)
$\Delta A_{zu}$	fiktive Öffnungsfläche gemäß Gl. (6.4)
$H$	Raumhöhe
$H_{ref}$	Referenzraumhöhe: hier $H_{ref} = 2,5$ m
$H_u$	Verbrennungswärme
$H_{u,eff}$	effektive Verbrennungswärme
$M$	Masse Brandlast
$Q_{VERLUST}$	Wärmemenge zur Berücksichtigung von Wärmesenken
$Q_W$	Wärmeabgabe an einzelne Bauteile (Wärmesenke)
$SLB$	stöchiometrischer Luftbedarf
$SLB^*$	durch $X$ erhöhter Luftbedarf
$T_o$	Anfangstemperatur einer Wärmesenke
$T_g$	Heißgastemperatur gemäß Gl. (6.13)
$\bar{T}_s$	kalorische Mitteltemperatur
$V$	Volumen
$V_{zu}$	Zuluftvolumenstrom über Zwangsventilation
$X$	Verbrennungseffektivität
$b$	Wärmeeindringzahl
$c_p$	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck
$d$	Wandstärke
$f_{Av}$	Korrekturfaktor aus Bild 6.3 zur Berücksichtigung der Ventilationsverhältnisse
$f_H$	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der tatsächlichen Raumhöhe gemäß Gl. (6.3)
$m_b$	Masse der Brandlast in Tabelle 5.1
$q$	flächenspezifische Brandlast
$q_{eff}$	flächenspezifische Brandlast nach Berücksichtigung von Wärmesenken

Symbol	Bedeutung
$t_a$	äquivalente Brandlast
$\alpha$	Wärmeübergangskoeffizient Brandraum-Wärmesenke
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit
$\eta$	durchschnittlicher Füllgrad oder Füllstand eines Behälters in [%]
$\mu$	Gewichtsanteil
$\rho$	Dichte
$\sigma$	Scharparameter nach Gl. (6.11) für Bild 6.4

#### Indices

B	Betonbauteile
BE	die Behälterwandungen eines Flüssigkeitsbehälters betreffend
F	Flüssigkeitsbehälter
FL	das Fluid in einem Flüssigkeitsbehälter betreffend
S	Stahlbauteile
VERLUST	die Wärmeverluste an Wärmesenken betreffend
W	Wärmesenke
b	die Brandlast betreffend
eff	effektiv
exp	durch Versuch ermittelt
g	die Heißgase im Brandraum betreffend
ges	gesamt
lokal	Berechnung unter Annahme einer ungleichmäßig verteilten Brandlast
m	über Massenanteile gemittelte Größe
mittel	Berechnung unter Annahme einer gleichmäßig verteilten Brandlast
ref	die Referenzhöhe $H_{ref} = 2,5$ m betreffend
zu	Zuluft durch Zwangsventilation

## 9 LITERATUR

- /1/ Hosser, D., Dobbernack, R., Heins, T.: Weiterentwicklung eines vereinfachten Nachweisverfahrens für die Bauteilauslegung im Rahmen der Erarbeitung der Regel KTA 2101.2. Bericht im Unterauftrag der GRS zum BMU-Vorhaben SR 463 A1.2, Braunschweig, August 1990
- /2/ Hosser, D.: Rechnerische Nachweise für Brandschutzmaßnahmen. Bericht im Unterauftrag der GRS zur Erarbeitung von Regelvorschlügen zu offenen Themen bei der KTA Regel 2101. Braunschweig August 1987
- /3/ HDR-Sicherheitsprogramm, Teilprojekt 4: Brandversuche am HDR, Großer Ölbrand, Versuche E41.1-4. PHDR-Arbeitsbericht Nr. 40.007/89, Dezember 1989
- /4/ HDR-Sicherheitsprogramm: Kabelbrand in einer Mehrraumanordnung im Containment. PHDR-Arbeitsbericht Nr. 40.092/1992, Techn. Fachbericht PHDR 107-93, 1993
- /5/ Dobbernack, R., Wesche, J.: Experimentelle Grundlagenuntersuchungen zur Optimierung von Brandschutzmaßnahmen und Qualitätskontrollen in Kernkraftwerken. BMI-Vorhaben SR 144/1, 1986
- /6/ Will, J., Hosser, D.: Brandversuche an Kabeltrassen. Braunschweiger Brandschutz-Tage '95. Schriftenreihe des Institutes für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), TU Braunschweig,, Heft 115, Braunschweig 1995
- /7/ Qualifizierung der dämmschichtbildenden Beschichtung „KS 1“ bezüglich der Verminderung des Brandrisikos auf Kabelanlagen mit PVC-Kabeln. Untersuchungsbericht Nr. U 95 055, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), TU Braunschweig, Januar 1995
- /8/ Qualifizierung der dämmschichtbildenden Beschichtung „Beckonit A“ bezüglich der Verminderung des Brandrisikos auf Kabelanlagen mit PVC-Kabeln. Untersuchungsbericht Nr. U 95 056, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), TU Braunschweig, Januar 1995
- /9/ Kabelbrandversuche an unbeschichteten und mit DSB geschützte Kabelanlagen. Untersuchungsbericht Nr. U 95 067, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), TU Braunschweig, 8. Mai 1995

- /10/ Drysdale, D.: An Introduction to Fire Dynamics. John Wiley and Sons, 1986
- /11/ Hirschler, U. U.: Heat Release from Plastic Materials. Heat Release in Fires, ed. Babrauskas, V., Grayson, S., J. Elsevier Science Publishers, 1992
- /12/ Gandhi, P., Przybyla, L., Grayson, S., J.: Electric Cables Applications. Heat Release in Fires, s. o.
- /13/ Tewarson, A.: Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires. SFPE-Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association, 1990
- /14/ Chavez, J. U.: An Experimental Investigation of Internally Ignited Fires in Nuclear Power Plant Control Cabinets, NUREG/CR-4527, SAND 86 - 0336, 1987
- /15/ Heins, T.: Simulationsmodell zur sicherheitstechnischen Beurteilung der Rauchausbreitung bei Bränden in ausgedehnten Räumen. Schriftenreihe des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), TU Braunschweig, Heft 92, 1991
- /16/ Hosser, D., Siegfried, W.: Vergleich von Simulationsmodellen für die brandschutztechnischen Fragestellungen. 5. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis. Schriftenreihe des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 103, 1993. ISBN 3-89288-079-4
- /17/ Hosser, D.: Vergleich der Aussagefähigkeit von experimentellen und rechnerischen Untersuchungen. VdS-Fachtagung „Ingenieurmäßige Verfahren im Brandschutz“, 25. und 26. April 1995 in Köln, VdS 2440
- /18/ Blume, G.: Rauch- und Heißgasbewegungen in unterirdischen Verkehrsanlagen. Forschungsarbeiten 1990 - 1994. Schriftenreihe des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 109, 1994. ISBN 3-89288-088-3
- /19/ DIN V18230 - Baulicher Brandschutz im Industriebau; Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer. Vornorm September 1987
- /20/ Hosser, D., Dobbernack, R.: Überprüfung der Annahmen zum Rauch- und Wärmeabzug in DIN V 18230 und DIN 18232. vfdb 2/95, 71 - 78

- /21/ Hagen, E.: Zur Prognose des Gefährdungspotentials von Raumbränden. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 93, 1992, ISBN 3-89288-072-7
- /22/ Hosser, D.: Large Scale Room Fire Data for Code Verification. Nordic Fire Safety Engineering Symposium, Espoo (Finland), August 30 - September 1, 1993
- /23/ VDI-Wärmeatlas; Berechnungsblätter für den Wärmeübergang. Seite EC1 ff. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1988
- /24/ Schneider, U., Hosser, D., Max, U.: Nachweisverfahren für den Brandschutz in Kernkraftwerken. Abschlußbericht im Auftrag des Instituts für Bautechnik, Kassel, Oktober 1986
- /25/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit: Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke Phase B. Köln, Verlag TÜV Rheinland, 1990
- /26/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit: Entwicklung und Verifizierung von Modellen zur Zuverlässigkeitsbewertung von Sicherheitseinrichtungen. Ermittlung der Zuverlässigkeit von Brandschutzeinrichtungen. Berichtsentwurf im Auftrag des BMFT, Köln, Oktober 1990
- /27/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) und Arbeitsgemeinschaft Brandschutz in Kernkraftwerken (ABK): Optimierung von Brandschutzmaßnahmen und Qualitätskontrollen in Kernkraftwerken. Fachband 2: experimentelle Untersuchungen, September 1985
- /28/ E DIN 18230-1: Baulicher Brandschutz in Industriebauten; Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer. Entwurf März 1996

## BRANDVERSUCHE AN KABELTRASSEN

Jürgen Will und Dietmar Hosser

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität  
Braunschweig, Braunschweig

### EINLEITUNG

Kabelanlagen zur Versorgung von elektrischen Einrichtungen sind in allen Bauwerken vorhanden, stellen aber besonders im Industriebau, in Kraftwerksanlagen, großen Verwaltungsbauten und generell in Gebäuden mit hohem Installationsgrad ein erhebliches Gefahrenpotential dar: Einerseits beteiligen sich die brennbaren Isolierungen der elektrischen Leitungen am Brandgeschehen eines an anderer Stelle ausgebrochenen Feuers, andererseits können sie durch Selbstentzündung Ursache des Brandes sein. Durch die oft über große Abschnitte fortlaufende Verlegung kann sich ein Entstehungsbrand über eine Kabelanlage wie über eine Zündschnur in ansonsten nicht vom Brand betroffene Bereiche ausbreiten.

Neben der Brandentstehung und -ausbreitung, die vom Brandlastpotential her zu einem lang anhaltenden Feuer mit Temperaturen bis zu 1000 °C in den betroffenen Räumlichkeiten führen kann, gehen noch weitere Gefahren von Kabelanlagen aus:

- der Feuerübersprung ("flash-over") über austretende Pyrolysegase nach stärkerer Vorwärmung durch ein Stützfeuer,
- starke Rauchentwicklung beim Abbrand der Kabelisolierung mit Verrauchung von Rettungswegen und Angriffswegen der Feuerwehr,
- Gefahr für die Gesundheit von Menschen durch toxische Rauchgasanteile und Brandrückstände,
- Verlust der Funktionsfähigkeit sicherheitstechnisch wichtiger elektrischer Leitungen,
- langfristige Schädigung von Bauteilen und Anlagen durch Korrosion nach dem Abbrand halogenhaltiger Isolierungen.

Zur Verringerung des Risikos der Brandentstehung und Brandausbreitung und zur Begrenzung der Brandwirkungen wurden dämmschichtbildende Anstriche (DSB) entwickelt, die zunehmend in der Praxis als Schutzsystem auf Kabeltrassen verwendet werden. Der DSB soll dabei die Zugänglichkeit zu den Kabeln möglichst wenig behindern und soll sich mit zuverlässiger Qualität auch nachträglich aufbringen lassen. Da Kabelanlagen ständig verändert oder erweitert werden, muß der DSB diesen Modifikationen in einfacher Weise angepaßt werden können.

Im Rahmen umfangreicher Brandversuche wurden am iBMB in den Jahren 1994 und 1995 dämmschichtbildende Anstriche (DSB) daraufhin überprüft, in welchem Umfang und mit welcher Zuverlässigkeit sie ihre Schutzfunktion auf Kabeltrassen erfüllen. Hierbei waren grundlegende Festlegungen über repräsentative Brandszenarien und Kriterien zur quantitativen Bewertung der Wirkungsweise des Schutzsystems neu zu treffen.

In diesem Beitrag werden die entsprechenden theoretischen Vorüberlegungen und die experimentellen Untersuchungen an Kabeltrassen mit ungeschützten PVC-Kabeln und solchen mit dämmschichtbildendem Anstrich zusammenfassend dargestellt. Einige wesentliche Ergebnisse bezüglich des Brandentstehungs- und Ausbreitungsrisikos werden vorgestellt und kommentiert.

## GRUNDKONZEPT DER VERSUCHE UND VORGEHENSWEISE

Hinsichtlich des Brandentstehungsrisikos ist einerseits davon auszugehen, daß Kabel selbst Zündursache sind und die entflammbare Isolierung lokal durch Kurzschluß oder Überhitzung entzündet wird. Andererseits besteht die Möglichkeit, daß die Kabel durch ein an anderer Stelle von anderen Brandlasten gespeistes Feuer vorgewärmt und dann durch direkte Flammeneinwirkung oder, bei hohen Raumtemperaturen, durch Selbstentzündung in Brand geraten. In diesem Fall kommt es in Abhängigkeit von der Größe des durch die "primäre" Brandlast verursachten Feuers und der Bauart, Belegung und Orientierung der Kabeltrasse zu einer Teilnahme am Brand als "sekundäre" Brandlast.

In den experimentellen Untersuchungen wurde der Schwerpunkt auf das zweite Szenarium mit nennenswerten Stützfeuern gelegt, weil dieses hinsichtlich des Brandentstehungs- und Brandausbreitungsrisikos abdeckend ist. Zu Vergleichszwecken wurden aber auch einige Versuche ohne Vorwärmung durchgeführt.

Das Feuer der "primären Brandlast" wurde durch Vorheizen des 3.6 m breiten, 3.6 m tiefen und 5.4 m hohen Brandraums (vgl. Bild 1 und 2) mit Ölbrennern simuliert. Die Brenner wurden durch eine 1.4 m hohe Wand von dem Gestell mit der Kabeltrasse getrennt, so daß die Flammen diese nicht direkt beaufschlagen und unkontrolliert entzünden konnten. Die Aufheizung des Brandraumes erfolgte in Anlehnung an die sog. Schmelzbrandkurve [2] bis zum Erreichen eines bestimmten Temperaturniveaus in der Umgebung der Kabeltrasse, das dann bis zum Versuchsende aufrechterhalten wurde. Die Ölbrenner wurden hierzu so gesteuert, daß bei horizontaler Anordnung 40 cm oberhalb der Kabel und bei vertikaler Anordnung 20 cm vor der Trasse (von 1 m bis 3.5 m über dem Boden) die gewünschte Temperatur herrschte.

Für die direkte Beflammung wurde ein separater, unter bzw. vor der Kabeltrasse stehender Kiesbettbrenner eingesetzt, der zu einem beliebigen Zeitpunkt eingeschaltet und mit geregelter Leistung betrieben werden kann. Der Brenner wird mit Propangas betrieben. Durch die Trennung von Aufheizung und Beflammung können diese unabhängig voneinander variiert werden.

Zuluft gelangt durch den oberen Teil der teilweise versperrten Türöffnung und ein in Bodenhöhe auf der "Ölbrennerseite" angeordnetes Mannloch in den Brandraum. Die Rauchgase stauen sich anfangs unter der Decke, strömen dann aber unter dem Sturz der Türöffnung ab und werden über ein Abzugssystem der Rauchgasreinigungsanlage zugeführt. Der Brandraum ist mit der für die detaillierte Erfassung des Brandgeschehens notwendigen Meßtechnik bestückt.

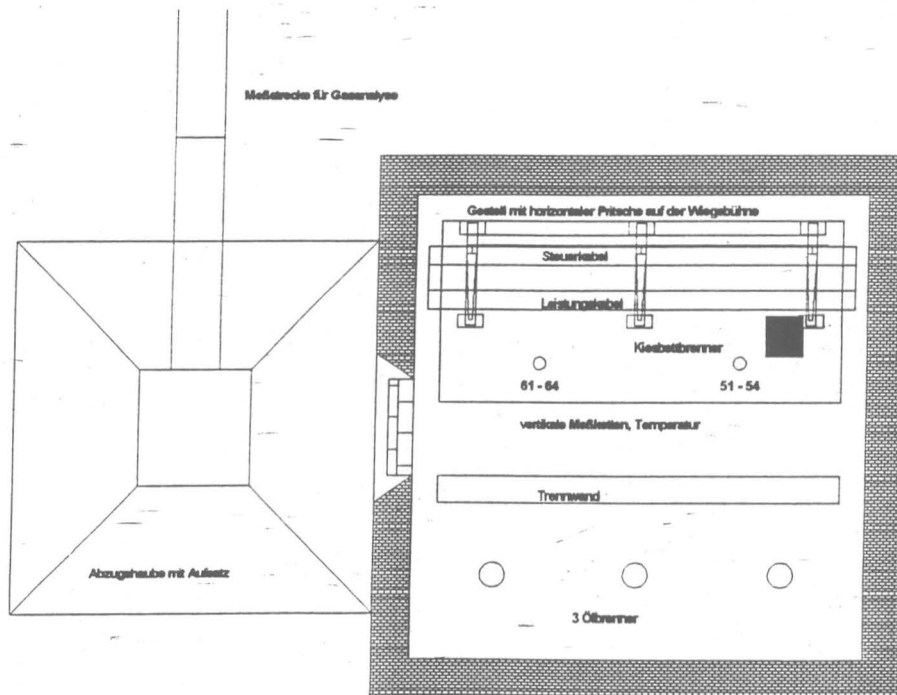


Bild 1 Grundriß des Brandraums mit horizontal angeordneter Kabelpritsche und des Abzugssystems

Kabel werden in vielfältigster Form eingesetzt. Entsprechend ihrer Anwendung unterscheiden sie sich in Abmessung, Aufbau und Art des zur elektrischen Isolierung verwendeten Materials. Diese Vielfalt kann in den Versuchen nicht erfaßt werden. Um trotzdem möglichst allgemeingültige Erkenntnisse zu gewinnen, wurden die leiterförmigen Kabelpritschen mit verschiedenen, häufig in der Praxis eingesetzten Steuer- und Leistungskabeln mit PVC-Mantel belegt. Wegen des prinzipiellen Unterschieds zwischen horizontaler und vertikaler Brandausbreitung wurden die entsprechenden Pritschenorientierungen getrennt untersucht.

Für die Versuche mit DSB wurde der dämmschichtbildende Anstrich (Firma svt BRANDSCHÜTZ GmbH: "KS I", Naßauftragung 900  $\mu\text{m}$ ; Firma KAEFER ISOLIER-TECHNIK GmbH: "Beckonit A", Naßauftragung 1000  $\mu\text{m}$ ) praxisgerecht an horizontal oder vertikal aufgestellten Kabelpritschen aufgespritzt. Zur Erfassung des lokalen Geschehens wurden die Kabelpritschen mit Thermoelementen auf der Kabeloberfläche bzw. bei geschützten Pritschen unterhalb des DSB versehen.

Folgende Parameter wurden in den Versuchen systematisch variiert:

- Höhe und Dauer des Vorheizens,
- Zeitpunkt und Dauer der direkten Beflammung,
- Orientierung der Kabelpritsche,
- ohne / mit DSB als Schutzsystem, Art und Dicke des DSB, flankierende Maßnahmen.



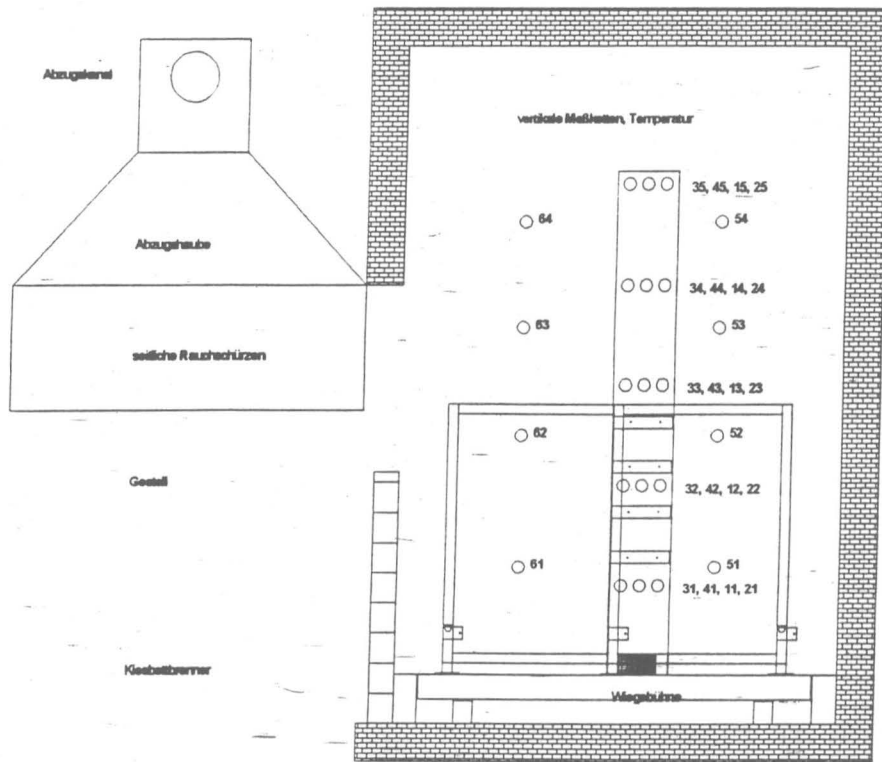


Bild 2 Querschnitt des Brandraums mit vertikal angeordneter Kabelpritsche und des Abzugsystems

Während der Untersuchungen hat sich bei vertikaler Kabelanordnung ein kritischeres Verhalten gezeigt. Deshalb wurden für diese Aufbauform auch 2 Versuche ohne Vorheizung des Brandraums durchgeführt, in einem Fall wurde eine kleine Zündquelle (Schälchen mit Ethanol, ca. 3 kW Leistung) eingesetzt.

Die Entzündbarkeit und Brandausbreitung wurde zusätzlich an einer ungeschützten und einer mit DSB geschützten Kabeltrasse mit sehr dichter Belegung studiert. Dazu wurde jeweils ein aus zwei 1.5 m breiten und 3 m langen Hälften bestehender Rost, belegt mit insgesamt 2250 kg Leittechnikabel (Gesamtlänge des Kabels: ca. 5500 m, PVC-Masse: ca. 980 kg, Brandlast: ca. 6750 kWh) in 2.5 m Höhe im Brandraum aufgestellt. Im 10 cm breiten Spalt zwischen den Rosthälften wurden zusätzlich unbeschichtete Kabelstücke über dem in 1.8 m Höhe stehenden Kiesbettbrenner eingehängt. Da eine derartige Brandlast eine große Menge Zuluft benötigt, falls sie auf ganzer Fläche brennt, blieb der untere Teil der Brandraumtür unversperrt. Der Brandraum wurde nicht vorgeheizt, der Kiesbettbrenner wurde jedoch mit hoher Leistung betrieben und diente gleichzeitig zur Vorwärmung und als Zündquelle.

## BRANDVERHALTEN UNGESCHÜTZTER KABELTRASSEN

Die bisherigen Erkenntnisse aus den Brandversuchen mit ungeschützten Kabeltrassen werden nachfolgend zusammenfassend wiedergegeben und kommentiert. Eine Übersicht

der entsprechenden Versuche mit Einzelpritschen findet sich in Tabelle 1, die wichtigsten Versuchsergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Eine bei 175 °C Umgebungstemperatur 20 min vorgewärmte horizontal angeordnete Kabelpritsche läßt sich mit 50 kW-Beflammung zwar lokal entzünden, das Feuer breitet sich aber nur geringfügig aus. Befindet sich die Kabelpritsche in einer heißeren Umgebung, so lassen sich die PVC-Kabel mit dem Kiesbettbrenner entzünden und brennen selbständig weiter. Erwartungsgemäß tritt die Zündung bei höheren Umgebungstemperaturen früher auf und zwar bei 200 °C nach 3 - 4 min und bei 350 °C nach weniger als 1 min. Die horizontale Brandausbreitungsgeschwindigkeit nimmt mit zunehmender Branddauer geringfügig und mit steigender Vorheiztemperatur stark zu: von 3 - 5 cm/min bei 200 °C bis auf 110 - 120 cm / min bei 350 °C.

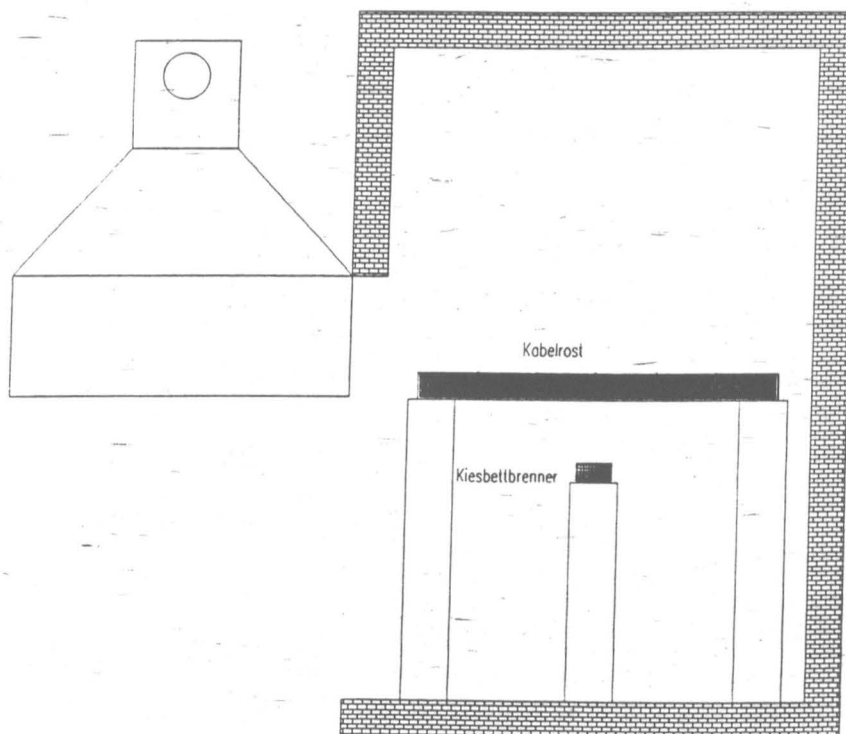


Bild 3 Querschnitt des Brandraums mit eingebautem Kabelrost

PVC-Kabel auf vertikal angeordneten Trassen lassen sich schon mit sehr kleiner direkter Beflammung (Leistung: 3 kW) schnell entzünden. Das Feuer breitet sich dann aber, abhängig von der Kabelart und dem Umfang eines Bündels, nur begrenzt aus und erlischt selbständig. Eine wenige Minuten anhaltende Beflammung mit 50 kW (dies entspricht etwa einem Papierkorbbrand) entzündet eine vertikale Kabeltrasse sicher. Nach der Entzündung breitet sich das Feuer mit zunehmender Geschwindigkeit aus (16 - 240 cm/min). Ist die Umgebung einer vertikalen Kabelanlage bereits auf 250 °C oder sogar 300 °C aufgeheizt, dann reicht eine nur 40 - 45 s andauernde direkte Flammeneinwirkung aus, um die PVC-Isolierung zu entzünden. Danach kommt es zu einer sehr schnellen bis schlagartigem Brandausbreitung: 130 cm / min bei 250 °C bzw. 360 - 480 cm/min ("Flashover") bei 300 °C.

Tabelle 1 Brandversuche mit ungeschützten Kabelpritschen

Kabeltrasse	Vorheiztemperatur	Zündquelle	Beobachtungen zum Brandverlauf
horizontale Pritsche	175 °C,	Gasbrenner, 50 kW, Dauer: 40 min	Abschalten der Ölbrenner vor Einschalten der Zündquelle Steuerkabel: selbständiges Brennen nicht beobachtet, keine Brandausbreitung Leistungskabel: Entzündung nach 22 min, Ausbreitung über 40 cm, selbständiges Verlöschen nach 25 min (7 min nach Abschalten der direkten Beflammung)
horizontale Pritsche	200 °C	Gasbrenner, 50 kW, Dauer: 5 min	Steuer- und Leistungskabel: Entzündung nach 3 - 4 min, Ausbreitung über die gesamte Länge, 3 - 5 cm / min, fast vollständiger Abbrand
horizontale Pritsche	350 °C	Gasbrenner, 50 kW, Dauer: 2 min	Steuer- und Leistungskabel: Entzündung nach wenigen Sekunden, Ausbreitung über die gesamte Länge, 110 - 120 cm / min, vollständiger Abbrand
vertikale Trasse	25 °C	„Poolfeuer“ (Ethanol), 3 kW, Dauer: 25 min	Steuerkabel: Entzündung nach 90 s, Ausbreitung über 40 cm innerhalb von 5 min, selbständiges Verlöschen nach 25 min mit Verlöschen des „Poolfeuers“, Branddauer: 23.5 min Leistungskabel: Entzündung nach 12 min, Ausbreitung über 130 cm, 17 cm / min, selbständiges Verlöschen nach 32 min, Branddauer: 20 min
vertikale Trasse	25 °C	Gasbrenner, 50 kW, Dauer: 8 min	Steuerkabel: Entzündung nach 30 s, Ausbreitung über die gesamte Höhe, 16 - 30 cm / min, vollständiger Abbrand Leistungskabel: Entzündung nach 8 min, Ausbreitung über die gesamte Höhe, 60 - 240 cm / min, fast vollständiger Abbrand
vertikale Trasse	250 °C	Gasbrenner, 50 kW, Dauer: 3 min	Steuer- und Leistungskabel: Entzündung nach 45 s, Ausbreitung über die gesamte Höhe, 130 - 160 cm / min, vollständiger Abbrand
vertikale Trasse	300 °C	Gasbrenner, 50 kW, Dauer: 2 min	Steuer- und Leistungskabel: Entzündung nach 40 s, Ausbreitung über die gesamte Höhe, 360 - 480 cm / min, „flash-over“, vollständiger Abbrand

Bei dem Versuch an einem Kabelrost mit sehr dichter Kabelbelegung wurden zunächst die eingehängten Einzelkabel innerhalb von 2 min durch den Kiesbettbrenner (Leistung: 50 kW) entzündet. Dieser „Primärbrand“ mit einer max. Leistung von ca. 160 kW entzündete dann auch die Seitenflächen der Kabelpackung auf dem Rost am Spalt zwischen den Rosthälften sowie lokal begrenzt (auf ca. 2 m<sup>2</sup>) Kabel an der Unterseite des Rostes. Die freihängenden Kabel verbrannten innerhalb von ca. 7 min, das Feuer auf dem Rost erlosch von selbst nach ca. 20 min. Durch nochmaliges Starten des Gasbrenners mit erhöhter Leistung von 100 kW bzw. 150 kW ließen sich die Kabel am Spalt und auf der Unterseite des Rostes (ca. 3 m<sup>2</sup>) zwar wieder entzünden, es kam aber weder auf der Rostunterseite noch auf der Oberseite zu einer nennenswerten Ausbreitung des Feuers über die Grenzen des direkt beflamnten Bereichs hinaus. Die im Versuch beobachtete geringe Brandausbreitungsneigung bei sehr dichter Kabelbelegung darf nicht ohne weiteres verallgemeinert werden. In Realität kann unter ungünstigen Randbedingungen und mit größerer Zündquelle bzw. mit einem Stützfeuer eine weitere Ausbreitung des Feuers nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Bei der Variation des Primärfeuers wurde festgestellt, daß die Brandausbreitungsgeschwindigkeit nicht nur von der Umgebungstemperatur zu Beginn des selbständigen Brennens abhängt, sondern auch vom zeitlichen Verlauf und der Dauer der Temperatureinwirkung. Wenn sich das Isoliermaterial erwärmt, bilden sich Pyrolysegase, deren Menge und Zusammensetzung sich mit der Temperatur und Dauer der Einwirkung verändern. Die Pyrolysegase reagieren mit dem Sauerstoff im Brandraum und sind die Hauptursache für eine rasche Brandausbreitung, besonders über vertikale Kabeltrassen.

Auf einer horizontalen Kabelpritsche brennen vornehmlich die Kabeloberseiten, eine konvektive Wärmeübertragung von der Flamme auf Kabel in nicht brennenden Abschnitten findet kaum statt. Die benachbarten Abschnitte werden aber durch Absorption von Flammenstrahlung aufgeheizt. Außerdem leitet der metallische Kern der Kabel die Temperatur gut weiter. Durch Erwärmung der nicht brennenden Abschnitte und Veränderung der Pyrolysegaszusammensetzung erhöht sich die Brandausbreitungsgeschwindigkeit.

Bei vertikaler Führung der Kabel steigen die Pyrolysegase nach dem Austreten entlang der Trasse auf. Im Gegensatz zur horizontalen Anordnung kommt es mit zunehmender Höhe zu einer Konzentrationserhöhung, d. h. zu einem besser brennenden Pyrolysegas-Luft-Gemisch. Zusätzlich streicht die Flamme dieser Verbrennung an der Kabeloberfläche entlang. Daher wird Wärme zum weiteren Aufheizen der Kabel konvektiv und aufgrund der Nähe der Flamme auch vermehrt radiativ übertragen. Diese Vorgänge erklären die erheblich höhere Brandausbreitungsgeschwindigkeit bei vertikalen Kabeltrassen.

Unabhängig von der Ausrichtung, der Belegungsichte, der Zündquelle und der Größe des „primären“ Brandes ist die Entzündung von PVC-Kabeln niemals auszuschließen. Der weitere Brandverlauf wird aber dann stark von den vorgenannten Parametern abhängen. Bei horizontaler Anordnung wird die Brandausbreitung besonders durch die Belegungsichte und die Höhe der Umgebungstemperatur infolge des „primären“ Brandes gesteuert (siehe Tabelle 2). Eine extreme, horizontal angeordnete Kabelmassierung, wie durch den Kabelrost simuliert, läßt sich durch ein lokal begrenztes Stützfeuer ent-

zünden. Die hohe Wärmekapazität der Massierung verzögert aber erheblich die Erwärmung des nicht direkt beflamnten PVC's auf eine für die Entzündung kritische Temperatur. Der Brand breitet sich deshalb nicht aus, sondern erlischt von selbst. Vertikale Kabeltrassen lassen sich dagegen mit einer genügend großen Zündquelle (z. B. 50 kW-Beflammung) bei 25 °C Umgebungstemperatur in Brand setzen. Hier wird die Ausbreitung durch die Wirkung des „primären“ Brandes zusätzlich beschleunigt.

Obwohl sich die Ergebnisse der durchgeführten Brandversuche an ungeschützten Kabeltrassen gut in die bisher bekannten Erkenntnisse über der Abbrandverhalten von PVC-Kabeln [3, 4] einfügen, wird doch erkennbar, daß viele Aussagen nur unter speziellen Randbedingungen gültig sind. In den Versuchen zeigte sich, daß der Zündzeitpunkt der Kabel nicht nur von der Umgebungstemperatur, der Größe der Beflammung und der Orientierung, sondern auch von der Art der Kabel (Steuer- oder Leistungskabel) und der Belegungsdichte der Kabelanlage abhängt. Aus labormaßstäblichen Experimenten ist bekannt, daß bei ansonsten gleichen Randbedingungen Zündzeitpunkt und relative Abbrand- bzw. Energiefreisetzungsrate von Einzelkabeln anders sind als bei Anordnungen von mehreren, nebeneinander- und / oder übereinanderliegenden Kabeln [5, 6, 7]. Unter diesem Aspekt sind auch verschiedene Kabelsorten (z. B. mit unterschiedlichem Durchmesser) zu betrachten. Die unterschiedlichen Eigenschaften und Anordnungen von Kabeln werden auch die Brandausbreitung auf einer Kabeltrasse maßgeblich beeinflussen.

Aus diesem Grund soll das Verhalten von PVC-Kabeln in Laboranordnungen unterschiedlicher Größe systematisch untersucht werden, um die Gesetzmäßigkeiten des Brandverhaltens und die Wechselwirkungen noch genauer zu erfassen. Gelingt es, das Brandverhalten mit den entsprechenden Parametern aus Laborversuchen zu beschreiben, soll die Übertragung in realistische Größenordnungen vorgenommen und mit Hilfe weiterer großmaßstäblicher Brandversuche verifiziert werden.

Tabelle 2 Brandverhalten von PVC-Kabeltrassen

Kabeltrasse	Vorheiztemperatur	Zündquelle	Beobachtungen zum Brandverlauf	
			Entzündung	Brandausbreitung
Rost, horizontal	25 °C	150 kW	ja	lokal begrenzt
Pritsche, horizontal	175 °C	50 kW	ja	lokal begrenzt
	200 °C		3 - 4 min	3 - 5 cm / min
	350 °C		< 1 min	110 - 120 cm / min
Pritsche, vertikal	25 °C	3 kW	1.5, 12 min	lokal begrenzt
		50 kW	0.5, 8 min	16 - 30, 60 - 240 cm / min
	250 °C		45 s	130 - 160 cm / min
	300 °C		40 s	360 - 480 cm / min

## BRANDVERHALTEN GESCHÜTZTER KABELANLAGEN

Die Wirkungsweise eines dämmschichtbildenden Anstrichs auf einer Kabelanlage läßt sich in drei Phasen einteilen. In der 1. Phase wirkt der DSB als dünner, thermisch isolierender Anstrich. In der 2. Phase reagiert der DSB chemisch und quillt bis zum Vielfachen seiner ursprünglichen Dicke auf. Die Reaktion verläuft endotherm, d. h. Energie wird verbraucht. In der 3. Phase stellt der DSB eine dicke, poröse thermische Isolierschicht auf den Kabeln dar. Bei zu niedriger Umgebungstemperatur oder zu kurzer Vorheizzeit erreicht der DSB nicht die 2. oder 3. Phase. Unter dem direkten Einfluß einer Flamme ist jedoch lokal immer das vollständige Aufschäumen des DSB gewährleistet. In allen Phasen wird durch eine weitgehend geschlossene DSB-Schicht das Austreten brennbarer Pyrolysegase behindert. Voraussetzung ist jedoch, daß die Beschichtung in ausreichender Dicke aufgetragen wurde und auch unter Erwärmung gut auf dem PVC-Untergrund haftet.

Die einzelnen Versuchsergebnisse für die bereits von den ungeschützten Kabeltrassen her bekannten Anordnungen werden nachfolgend zusammenfassend wiedergegeben. Die wichtigsten Ergebnisse sind in Tabelle 3 angegeben. Dabei werden nur Versuche behandelt, bei denen der DSB eine ausreichende Schichtdicke aufwies; Vorversuche zur Optimierung der Schichtdicke bleiben außer acht.

Bei Umgebungstemperaturen unterhalb 250 °C reagiert der DSB nicht. Nur bei direkter Beflammung mit dem Gasbrenner bildet sich die poröse Schutzschicht lokal aus. Trotzdem wird zu keinem Zeitpunkt ein selbständiges Brennen auf den Kabeloberflächen beobachtet.

Bei Temperaturen von 250 - 350 °C reagiert der DSB nur zögerlich durch geringfügiges Aufquellen (1,5faches der ursprünglichen Auftragungsdicke). Nach 30 - 45 Minuten andauernder Vorwärmung zeigen sich Risse und Spalte in der Schutzschicht, brennbare Pyrolysegase treten verstärkt aus und lassen sich bei direkter Beflammung lokal entzünden. Unter diesen Bedingungen kann spätestens nach 30 Minuten eine Brandausbreitung über die Kabelpritsche nicht mehr ausgeschlossen werden.

Bei Umgebungstemperaturen oberhalb 350 °C reagiert der DSB schnell und quillt bis auf das 100fache seiner ursprünglichen Dicke auf. Die entstandene Schutzschicht ist so dick, daß sie auch unter direkter Beflammung mindestens 30 Minuten lang selbständiges Brennen und Brandausbreitung über die Kabelpritsche verhindert. Danach ist das lokale Mitbrennen bei direkter Beflammung zwar nicht mehr auszuschließen, die Brandausbreitung aber nach wie vor unwahrscheinlich. Erst ab der 45. Minute besteht die Gefahr der horizontalen Brandausbreitung über vermehrt austretende Pyrolysegase.

Die Brandweiterleitung von einem unbeschichteten in einen beschichteten horizontalen Pritschenabschnitt findet bei Brandraumtemperaturen von 225 °C nicht statt, da der DSB an der Grenze zum unbeschichteten Abschnitt unter Einwirkung der Flammenfront durch Aufquellen einen ca. 10 cm breiten „Wall“ bildet. Selbst bei 425 °C über 20 Minuten dauert es mindestens 10 Minuten, bevor vereinzelt aus dem DSB austretende

Pyrolysegase selbständig brennen. Bei Selbstentzündung durch Überhitzung oder Kurzschluß ist deshalb nicht mit einer Brandausbreitung auf horizontalen mit DSB geschützten Kabeltrassen zu rechnen.

Tabelle 3 Brandverhalten von mit DSB geschützten Kabeltrassen

Kabeltrasse	Vorheiztemperatur	Zündquelle	Beobachtungen zum Brandverlauf	
			Entzündung	Brandausbreitung
Rost, horizontal	25 °C	180 kW	> 40 min	lokal begrenztes Brennen, selbstverlöschend
Pritsche, horizontal	< 250 °C	50 kW	nein	nein
	250 - 350 °C		> 30 min	ab der 45. min
	> 350 °C		> 30 min	ab der 45. min
Pritsche, vertikal	< 250 °C		ja	lokal begrenzt
	> 250 °C		ja	ca. 80 cm / min *)
Pritsche, vertikal, mit flankierenden Maßnahmen	> 350 °C		> 30 min	ab der 40. min

\*) Die für die vertikale Pritsche angegebene Ausbreitungsgeschwindigkeit bezieht sich auf das „Springen“ der Flammen über die einzelnen Befestigungsabschnitte.

In allen Fällen durchläuft der DSB eine Phase, in der sich vermehrt Risse in der Beschichtung bilden und diese in Verbindung mit erweichendem PVC zum Abtropfen neigt.

Unterhalb 250 °C begrenzt der DSB das Mitbrennen auf den Bereich der direkten Beflammung. Die Brandausbreitung wird verhindert. Ein lokales Feuer auf der Trasse erlischt selbständig nach Entfernen der direkten Beflammung.

Oberhalb 250 °C lassen sich austretende Pyrolysegase durch direkte Beflammung zuerst im Bereich der Kabelbefestigungen entzünden. Es kommt zur sprunghaften Ausbreitung des Feuers über die gesamte Trasse. Ab der 40. Minute brennt die beschichtete Trasse vergleichbar einer unbeschichteten, mit der entsprechenden Energiefreisetzung und Rauchentwicklung. Dies gilt auch, wenn die Umgebung schnell auf über 300 °C aufgeheizt wird und der DSB vollständig reagiert hat, bevor direkt beflammt wird.

Die unzureichende Schutzfunktion des DSB ist eine Folge der Bauart vertikaler Kabeltrassen. Im Bereich der Befestigungsschellen tropft der DSB verstärkt ab. Unterhalb der Befestigungsschellen bilden sich große Risse im DSB, diese Lücken werden durch nachträgliches Aufquellen nicht mehr geschlossen. Das Feuer breitet sich anfangs sprunghaft über die Befestigungsabschnitte aus und „kriecht“ von dort unter den DSB, d.h. das unbeschichtete Innere der Kabelbündel beginnt zu brennen.

Es ist nachgewiesen worden, daß sich mit flankierenden Maßnahmen in den Befestigungsbereichen (Firma svt BRANDSCHUTZ GmbH: „svt-Überschlagsicherungsblech“) diese Schwachstelle im Schutzsystem beseitigen und die für horizontale Pritschen beschriebene Schutzwirkung erreichen läßt. Der DSB verhindert dann bei Temperaturen bis 400 °C und direkter Beflammung bis zur 30. Minute zuverlässig die Entzündung austretender Pyrolysegase und bis zur 40. Minute die Brandausbreitung über eine vertikale Trasse.

Der DSB auf horizontalen Pritschen bzw. zusammen mit qualifizierten, flankierenden Maßnahmen auf vertikalen Trassen kapselt die PVC-Brandlast über eine Dauer von mindestens 30 Minuten ab und verhindert deren Teilnahme am Brandgeschehen. Danach ist die Verbrennung von PVC allerdings nicht mehr auszuschließen, wobei aber Abbrand- bzw. Energiefreisetzungsrate und Rauchbildung erheblich verringert werden. Die Brandausbreitung erfolgt nicht, wie bei ungeschützten Kabeln, kontinuierlich. Vielmehr bilden sich lokale Flammenherde, die durch nichtbrennende Abschnitte voneinander getrennt sind.

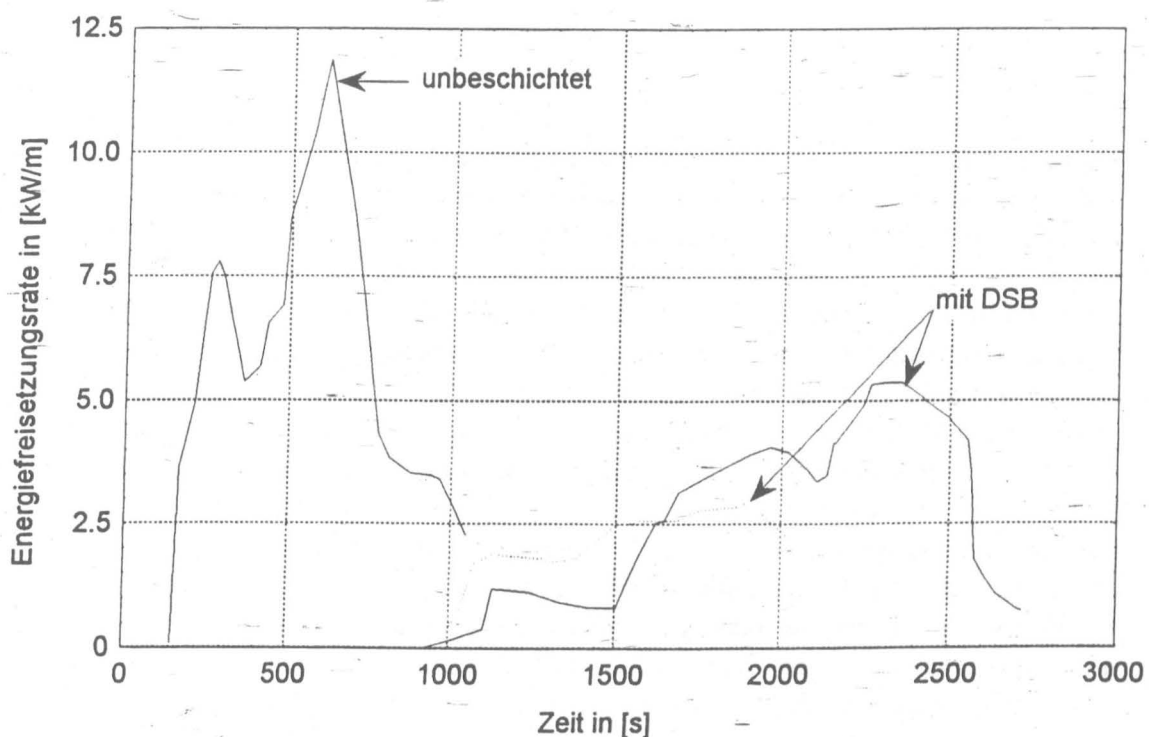


Bild 4 Energiefreisetzungsrate für ungeschützte und geschützte Einzelkabel (Länge 10 cm)

Neben den großmaßstäblichen Naturbrandversuchen wurden auch Untersuchungen im Labormaßstab durchgeführt. Hierbei wurden unbeschichtete, mit DSB beschichtete und mit DSB beschichtete, zusätzlich mit wasserabweisender Lackierung (Firma svt BRANDSCHUTZ GmbH: „svt Dekontlack“) versehenen Kabelstücke unter gleichartigen Randbedingungen im Cone-Calorimeter nach ISO 5660 [8] untersucht: Das Maximum



der Energiefreisetzungsrate ist bei beschichtetem PVC-Kabeln gegenüber unbeschichteten mindestens um den Faktor 0.7 kleiner, die durchschnittliche Energiefreisetzungsrate, abhängig von der Kabelart, um den Faktor 0.3 - 0.5. Die wasserabweisende Lackierung hat keinen nennenswerten Einfluß auf die Schutzwirkung des DSB, obwohl sie brennbar ist.

Das brennbare Isoliermaterial unterhalb des DSB wird in allen kleinmaßstäblichen Untersuchungen, wie auch in den Großversuchen mit Brandraumtemperaturen über 350 °C (mit Vorheizen, Gesamtdauer bis zu 2.5 Stunden), fast vollständig umgesetzt. Trotz des bei hohen Umgebungstemperaturen zeitlich begrenzten Schutzes gegen Brandentstehung und -ausbreitung wird bei einem lang andauernden Brand das im PVC enthaltenen Chlor (Cl) vollständig zu Salzsäure (HCl) umgesetzt, so daß die Korrosionsgefahr für Bauteile und Einbauten nicht gänzlich eliminiert ist. Auch die Brandlast, ausgedrückt als im Brandraum befindliche Energiemenge, wird theoretisch nicht reduziert. Die Energiefreisetzungsrate (Brandleistung) und damit die thermische Belastung der Bauteile durch die chemische Umwandlung bzw. den Abbrand der PVC-Isolierung wird aber erheblich - d.h. über die vorgenannten Faktoren hinaus - reduziert.

## AUSBLICK

Beschichtungen von Kabeln zur Reduzierung des Brandentstehungs- und Brandausbreitungsrisikos und zur Verminderung der Brandwirkung haben eine große praktische Bedeutung, sowohl bei der Sanierung bestehender Gebäude als auch beim Neubau. Besonders in Bereichen, in denen die Kabelanlage die maßgebliche Brandlast ist und keine nennenswerten Zündquellen vorhanden sind, wird die Brandausbreitung sicher verhindert. Aus der nachgewiesenen Reduzierung der Energiefreisetzungsrate und damit der Brandwirkung läßt sich eine Verminderung der rechnerischen Brandbelastung gegenüber ungeschützten Kabelanlagen rechtfertigen. Das führt z. B. nach DIN 18230 [9] zu einer geringeren erforderlichen Feuerwiderstandsdauer der Konstruktionen.

Im Einzelfall - insbesondere bei der Ertüchtigung des Brandschutzes bestehender Gebäude - kann der DSB auch als Ersatz für eine Kapselung von Kabeltrassen durch Installationskanäle oder klassifizierte Unterdecken eingesetzt werden. Dazu ist aber die Erfassung der sonstigen Brandlasten und Abschätzung einer möglichen Beanspruchung des DSB erforderlich, um eine ausreichende Schutzdauer gewährleisten zu können.

Ein Funktionserhalt von PVC-Kabeln über eine Dauer von  $\geq 30$  Minuten nach DIN 4102 Teil 12 (Klassifizierung E 30) [10] ist aus heutiger Sicht nicht erreichbar. In den bisherigen Versuchen hat sich aber gezeigt, daß unter den beschriebenen Randbedingungen, auch bei nennenswerter thermischer Vorbelastung die Funktionsfähigkeit einzelner Kabel bis zu 10 Minuten erhalten bleibt. Bei weiterer Optimierung der dämmschichtbildenden Anstriche könnte eine für die Funktionsfähigkeit von Brandschutzeinrichtungen und Sicherheitssystemen notwendig Funktionsdauer von 15 Minuten gewährleistet werden.

## ZUSAMMENFASSUNG

Das von Kabeltrassen mit ungeschützten PVC-Kabeln ausgehende Brandentstehungs- und Brandausbreitungsrisiko wird durch die in diesem Beitrag vorgestellten experimentellen Untersuchungen quantitativ belegt. Dabei zeigt sich, daß eine grundsätzliche Unterscheidung zwischen horizontal und vertikal verlaufenden PVC-Kabeln gemacht werden muß. Eine Verallgemeinerung der genannten Ergebnisse ist derzeit noch nicht möglich. Hierfür sind noch weitere systematische Brandversuche für unterschiedliche Kabelarten und -anordnungen erforderlich, die noch in diesem Jahr beginnen werden. Ziel ist eine verallgemeinerte quantitative Beschreibung der von Kabeltrassen ausgehenden Brandrisiken.

Das Aufbringen eines dämmschichtbildenden Anstrichs verringert das Risiko der Entzündung und Brandweiterleitung und die Wirkung des PVC-Kabelbrandes, thermische Belastung und Freisetzungsrateschädlicher Rauchgase, erheblich, kann die Brandteilnahme aber nicht absolut ausschließen. Bei vertikaler Anordnung der Kabelanlage ist die Schutzwirkung des DSB allein nicht befriedigend, kann aber durch flankierende Maßnahmen erheblich verbessert werden.

Da anerkannte Nachweisverfahren für die Wirksamkeit dämmschichtbildender Beschichtungen auf Kabelanlagen derzeit nicht existieren, soll auf der Grundlage des durchgeführten Versuchsprogramms ein Qualifizierungsverfahren entwickelt werden, mit dem in Ergänzung zur allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung von DSB deren Brauchbarkeit zur Verringerung der Brandentstehungs- und Brandausbreitungsgefahr, sowie der Brandwirkungen und ggf. zur Gewährleistung eines begrenzten Funktionserhalts von Kabeln nachgewiesen werden können.

## LITERATUR

- [1] Will, J. und Rohling, A.: Qualifizierung von Kabelschutzsystemen. Kurzreferate, Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten, 5. und 6. Oktober 1994, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), TU Braunschweig, Heft 112, Braunschweig 1994
- [2] DIN EN 1363 Teil 1: Bauteilbrandversuche zur Feuerwiderstandsdauer, Alternative Beflammungsbedingungen und Eignungsprüfungen unter besonderen Umständen, Entwurf April 1994
- [3] Dobbernack, R., Wesche, J.: Experimentelle Grundlagenuntersuchungen zur Optimierung von Brandschutzmaßnahmen und Qualitätskontrollen in Kernkraftwerken. BMI-Vorhaben SR 144/1, 1986

- [4] HDR Sicherheitsprogramm, Kabelbrand in einer Mehrraumanordnung im Containment. PHDR-Arbeitsbericht Nr. 40.092/1992, Techn. Fachbericht PHDR 107 - 93, 1993
- [5] Delichatsios, M. A., Delichatsios, M. M.: Upward flame spread and critical conditions for PE/PVC cables in a tray configuration. Proceedings of the Third International Symposium of Safety Science, Elsevier, 1991
- [6] Gandhi, P., Przybyla, L., Grayson, S. J.: Electric cables applications. Heat release in fires, Elsevier Applied Science, p. 545 - 563, 1992
- [7] Nakagawa, Y., Komai, T., Kohno, M.: Ignition and flame propagation of electric cables in a laboratory-scale gallery test. Fire and Materials, Vol. 16, p. 181 - 186, 1992
- [8] ISO 5660: Fire tests - Reaction to fire, Part 1: Rate of heat release from building products (Cone calorimeter method), November 1993
- [9] DIN 18230 Teil 1: Baulicher Brandschutz im Industriebau - Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer, Entwurf November 1994
- [10] DIN 4102 Teil 12: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Funktionserhalt von elektrischen Kabelanlagen; Anforderungen und Prüfungen, Ausgabe 01/1991

# Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz

## Ergebnisberichte Untersuchungen, Studien, Gutachten

### Bisher veröffentlicht:

Preis\*

BMI 1983-001	Verringerung der Auswirkungen bei Unfällen mit Kernschmelzen. Von K. Hassmann u. a., 130 S.	DM 25,10	BMI 1984-040	FELIX – Exkursionsverhalten wässriger Spaltstofflösungen. Von J. Weber u. a., 26 S.	DM 5,--
BMI 1983-002	Reaktortfundamente. Von K. H. Laermann u. a., 64 S.	DM 12,40	BMI 1984-041	Alterung von Aktivkohlen in der Abluft eines Druckwasserreaktors. Von H. Deuber u. a., 40 S.	DM 7,70
BMI 1983-003	Herkunft, Handhabung und Verbleib von Tritium. Von R. Lorscheider u. a., 258 S.	DM 49,70	BMI 1984-042	Anforderungen an Simulator der neuen Kernkraftwerks-Generation. Von S. J. Reinartz u. a., 106 S.	DM 20,50
BMI 1983-004	Freisetzung von Plutonium bei einem Flugzeugabsturz. Von H. D. Seehars u. a., 162 S.	DM 31,20	BMI 1984-043	Fachkunde von leitendem Betriebspersonal in Kernkraftwerken. Von G. Farber, 156 S.	DM 30,10
BMI 1983-005	Experimente mit einem Modellpulver. Von H. D. Seehars u. a., 114 S.	DM 22,--	BMI 1984-044	Die Nachbildung von Regelungs- und Begrenzungseinrichtungen im Kernsimulatorprogramm Garbic. Von D. Beraha u. a., 72 S.	DM 13,90
BMI 1983-006	Entsorgung tritiumhaltiger Abfälle. Von G. Luthardt u. a., 112 S.	DM 21,60	BMI 1984-045	Grundlagen für Regelwerk über Auslegung von HTR-Komponenten für Anwendungstemperaturen oberhalb von 800 °C. Vom Fachkreis „Regelwerk“, 224 S.	DM 43,20
BMI 1983-007	Entsorgung tritiumhaltiger Abwässer. Von K. Hartmann u. a., 234 S.	DM 45,10	BMI 1984-046	Software der Schutzbegrenzungsrechner in Grafenheinfeld – Sicherheitsanalyse. Von M. Kersken, 162 S.	DM 31,20
BMI 1983-008	Probabilistische Sicherheits- und Auslegungsziele. Von Brenig u. a., 186 S.	DM 35,90	BMI 1984-047	Sicherheitsgerechte Gestaltung von Wechselschichtplänen in Kernkraftwerken. Von W. Preuß u. a., 182 S.	DM 35,10
BMI 1983-009	DWR-Simulatorausbildung. Von Simon u. a., 362 S.	DM 69,80	BMI 1984-048	Informationstagung „Strahlenschutzforschung“ des BMI 1984. 172 S.	DM 33,20
BMI 1983-010	Kommunikationsformen des Wartenspersonals. Von W. Preuß u. a., 302 S.	DM 58,20	BMI 1984-049	Aufgaben des Wartenspersonals in deutschen KKW und Möglichkeiten zur Unterstützung durch moderne Rechnersysteme. Von W.-E. Buttner, 130 S.	DM 25,10
BMI 1983-011	Boden-Bauwerk-Wechselwirkungen. Von J. Kobarg u. a., 238 S.	DM 45,90	BMI 1984-050	Natürliche Variation der Radon-222-Konzentration in der Außenluft. Von K. O. Munnich u. a., 40 S.	DM 7,70
BMI 1983-012	Vergleichsstudie leittechnischer Sicherheitssysteme. Von W. Frey u. a., 88 S.	DM 17,--	BMI 1984-051	Gewährleistung zulässiger Leistungsdichten im Kern von Druckwasserreaktoren. Von D. Beraha u. a., 78 S.	DM 15,10
BMI 1983-013	Faktor Mensch bei der Qualitätssicherung. Von G. Gutmann u. a., 130 S.	DM 25,10	BMI 1984-052	Probabilistische Untersuchung des Rißfortschrittsverhaltens von Reaktorkomponenten. Von R. Schäfer u. a., 186 S.	DM 35,90
BMI 1983-014	Status der Qualitätssicherungssysteme. Von Projektgruppe Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH u. a., 484 S.	DM 93,30	BMI 1984-053	Untersuchungen zum Verhalten des Reaktordruckbehälterwerkstoffes 20 MnMoNi 5 5. Von D. Blind u. a., 278 S.	DM 53,60
BMI 1983-015	Dreidimensionale instationäre Fluidodynamikgleichungen. Von R. Gill u. a., 36 S.	DM 7,--	BMI 1984-054	Gefügestände der für die Herstellung von Kernkraftwerkskomponenten gebrauchlichen Stähle. Von D. Schroeder-Obst u. a., 124 S.	DM 23,90
BMI 1983-016	Risikoorientierte Bewertung – unterirdische Bauweise. Von K. Hassmann, 144 S.	DM 27,80	BMI 1984-055	Überwachung von Sicherheitssystem-Parametern durch Prozeßrechnerersatz. Von H. Schüller u. a., 192 S.	DM 37,--
BMI 1983-017	Wechselwirkung der Schmelze mit Feis. Von K. Hassmann, 106 S.	DM 20,50	BMI 1984-056	Verformungsverhalten der Brennstäbe im Kühlmittelverluststörfall – bisherige Out-of-Pile und In-Pile-Bündeluntersuchungen. Von A. K. Chakraborty, 66 S.	DM 12,80
BMI 1983-018	Ausbreitung der Schmelze im Betonfundament. Von K. Hassmann, 86 S.	DM 16,60	BMI 1984-057	Berücksichtigung sicherheitstechnisch relevanter Probleme in konventionellen und kerntechnischen Regelwerken – 1. Techn. Bericht. Von M. Trunk u. a., 92 S.	DM 17,80
BMI 1983-019	2. Containment-Standard-Problem. Von D. L. Nguyen, W. Winkler, 260 S.	DM 50,10	BMI 1984-058	Festigkeitsberechnung bei kerntechnischen Anlagen – Vergleich USA/D – 2. Techn. Bericht. Von E. Krageloh u. a., 54 S.	DM 10,40
BMI 1983-020	Diskussion der H <sub>2</sub> -Problematik. Von H. Jahn, 36 S.	DM 7,--	BMI 1984-059	Ermüdungskurven aus dehnungs- und spannungskontrollierten Schwingversuchen unter Zug-Druck bzw. Biegung bei Stählen – 3. Techn. Bericht. Von K.-H. Herter, 108 S.	DM 20,80
BMI 1983-021	Opferschichten. Von H. H. Reineke u. a., 84 S.	DM 16,20	BMI 1984-060	Einfluß der Mittelspannung auf die Schwingfestigkeit bei verformungsfähigen Stählen – 4. Techn. Bericht. Von M. Trunk, 82 S.	DM 15,80
BMI 1983-022	HTCC – Ein Wärmeübergangsmodell. Von P. Papadimitriou, 102 S.	DM 19,70	BMI 1984-061	Festigkeitsberechnung der Schrauben der Flanschverbindung des Reaktordruckbehälters von Leichtwasserreaktoren – 5. Techn. Bericht. Von K.-H. Herter, 88 S.	DM 17,--
BMI 1983-023	Richtlinie Fachkundepflichtung. Von W. Frisch u. a., 140 S.	DM 27,--	BMI 1984-062	Das COD-Konzept und seine Anwendung zur bruchmechanischen Beurteilung risiger Bauteile – 15. Techn. Bericht. Von H. Kockelmann, 188 S.	DM 36,30
BMI 1983-024	Westinghouse Hanford Standard Probleme. Von H. Jahn u. a., 184 S.	DM 35,50	BMI 1984-063	QS-Praxis in der Bautechnik für Kernkraftwerke – Analyse und Bewertung von Statusberichten. Von ORG-Consult Gesellschaft für Unternehmensberatung mbH, Essen, 154 S.	DM 29,70
BMI 1983-025	Thermoschockbeanspruchung von Reaktordruckbehältern. Von Azodi u. a., 170 S.	DM 32,80	BMI 1984-064	Wasserstoffproblematik in der Reaktorsicherheitsforschung – BMFT/BMI-Workshop 3./4. 10. 1983. Zusammengestellt durch H. Casper, 230 S.	DM 44,30
BMI 1983-026	Kritikalitätsexperimente. Von W. Heinicke u. a., 24 S.	DM 4,70	BMI 1985-065	Untersuchung zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen. Von R. Götz u. a., 152 S.	DM 29,30
BMI 1984-027	Möglichkeiten zur Wasserstoffbeseitigung. Von G. Langer u. a., 250 S.	DM 46,20	BMI 1985-066	On the Removal of Airborne Particulate Radioactivity under Accident Conditions Von Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH (KFK), 122 S.	DM 23,50
BMI 1984-028	Berechnung der Strahlenexposition. Von U. Hesse, 64 S.	DM 12,40	BMI 1985-067	DAISY-Rechnungen. Von S. Meier u. a., 198 S.	DM 38,20
BMI 1984-029	Untersuchung des Kernschmelzunfalls. Von K. Hassmann, 120 S.	DM 23,20	BMI 1985-068	Strahlensexpositionen durch aerosolgebundene Radionuklide. Von H. Holtschmidt u. a., 300 S.	DM 57,80
BMI 1984-030	Schilddrüsendiagnostik. Von P. Pfannenstiel u. a., 274 S.	DM 52,80			
BMI 1984-031	HAW-Endlager-Temperaturfeldberechnung. Von B. Bailes, 46 S.	DM 5,90			
BMI 1984-032	Salzstock-Langzeitverhalten bei hochradioaktiven Stoffen. Von B. Bailes u. a., 90 S.	DM 17,40			
BMI 1984-033	Möglichkeiten zur Wasserstoffbeseitigung. Von W. Baukal u. a., 278 S.	DM 53,60			
BMI 1984-034	RALOC Mod 1/81 mit Strukturwärmemodell HECU. Von V. T. Pham, 64 S.	DM 12,40			
BMI 1984-035	Abscheidung <sup>131</sup> I durch Jodfilter bei DWR. Von H. Deuber u. a., 54 S.	DM 10,40			
BMI 1984-036	Störfälle – Menschliches Fehlverhalten. Von E. Hoffmann, 224 S.	DM 43,20			
BMI 1984-037	Fallstudien zum Störungsanalysesystem STAR. Von W. E. Buttner u. a., 60 S.	DM 11,60			
BMI 1984-038	Rechnergestützte Anlagen-Datensammlung-Benutzeranleitung. Von S. Langenbuch u. a., 92 S.	DM 17,80			
BMI 1984-039	Kernrückhaltevorrichtung – Risikominderndes Potential. Von K. Bracht u. a., 90 S.	DM 17,40			

BMI 1985-069	<b>Berechnungen mit dem Programm FIPOC MOD 1/83.</b> Von G. Weber u. a., 134 S.	DM	25,90	BMU 1986-108	<b>Thermomechanische Berechnungen im Nahbereich von HAW-Gebinden...</b> Von B. Baltes u. a., 44 S.	DM	8,50
BMI 1985-070	<b>Darstellung und Wertung des Berichtes NUREG/CR-3428.</b> Von J. Deckers, 84 S.	DM	16,20	BMU 1986-109	<b>KKW Cattenom, Sicherheitstechnische Stellungnahme.</b> Von TÜV Baden e. V., 120 S.	DM	23,20
BMI 1985-071	<b>Verbesserung der Qualitätssicherung.</b> Von Fraser Ges. für Unternehmensberatung, 238 S.	DM	45,90	BMU 1986-110	<b>Strahlenexposition auf deutschem Gebiet aufgrund radioaktiver Ableitungen aus KKW Cattenom (F) und Remerschen (L).</b> Von TÜV Rheinland e. V., 51 S.	DM	9,90
BMI 1985-072	<b>Anfall und Entsorgung schwach radioaktiver Abfälle.</b> Von U. Hesse u. a., 36 S.	DM	7,--	BMU 1986-111	<b>Gefügezustände der für die Herstellung von Kernkraftwerkskomponenten gebrauchlichen Stähle.</b> Von D. Schroeder-Obst u. a., 214 S.	DM	41,30
BMI 1985-073	<b>Ausbreitung von Wasserstoff und Dampf im Verlauf von Kernschmelzenfällen.</b> Von M. Tiltmann, 62 S.	DM	12,--	BMU 1986-112	<b>Grundlagen, Anwendungsmöglichkeiten und Anwendungsgrenzen der Zählbruchkonzepte.</b> Von E. Roos, 176 S.	DM	33,90
BMI 1985-074	<b>Parameterstreuungen bei Ultraschall-Prüfeinrichtungen.</b> Von H. Fuchs u. a., 188 S.	DM	36,30	BMU 1986-113	<b>Materialausmittlung über kerntechnische Regeln und Richtlinien für Werkstoffe - Schlußbericht -.</b> Von M. Schick, K.-H. Herter, 125 S.	DM	24,10
BMI 1985-075	<b>Optimierung des verantwortlichen Schichtpersonals in KKW.</b> Von Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e. V. (VGB), Hauptband und Anlagenbände 1-6, 1000 S.	DM	192,60	BMU 1986-114	<b>Möglichkeiten zur Wasserstoffbeseitigung Phase III/3.</b> Von G. Langer u. a., 103 S.	DM	19,90
BMI 1985-076	<b>Organisation des Kernkraftwerksbetriebes.</b> Von Fraser Gesellschaft für Unternehmensberatung mbH., 360 S.	DM	69,40	BMU 1986-115	<b>Sicherheitstechnische Analyse zur thermischen Rezyklisierung in der Bundesrepublik Deutschland.</b> Von W. Thomas u. a., 139 S.	DM	26,80
BMI 1985-077	<b>Sicherheitsanalyse der Programme der Steuerabfahrrechner.</b> Von W. Ehrenberger u. a., 148 S.	DM	28,50	BMU 1986-116	<b>OREST-Nachbestrahlungsanalysen von MOX-Brennstoff des Reaktors Obrigheim.</b> Von U. Hesse, 44 S.	DM	8,50
BMI 1985-078	<b>Qualitätssicherung der Leittechnik von Kernkraftwerken.</b> Von S. Göbner, 312 S.	DM	60,10	BMU 1986-117	<b>OREST-Nachbestrahlungsanalysen der BE des Reaktors Obrigheim.</b> Von U. Hesse, 42 S.	DM	8,10
BMI 1985-079	<b>Festigkeitsberechnung Reaktordruckbehälter.</b> Von Staatliche Materialprüfanstalt (MPA), 104 S.	DM	20,10	BMU 1986-118	<b>Wärmeabfuhrmöglichkeiten aus DWR nach zeitlich begrenztem Ausfall der Wechselstromversorgung.</b> Von K. Bracht u. a., 123 S.	DM	23,70
BMI 1985-080	<b>Betriebsverfahren mit Sicherheitsarmaturen.</b> Von W. Bung u. a., 200 S.	DM	38,60	BMU 1986-119	<b>Vorstudie Level 1 Risikoanalyse für SWR.</b> Von K. Bracht u. a., 208 S.	DM	40,10
BMI 1985-081	<b>Weiterentwicklung und Verifikation des Rechenprogramms Felix.</b> Von J. Weber u. a., 26 S.	DM	5,10	BMU 1986-120	<b>DWR-Schwingungsüberwachung - Internationaler Status.</b> Von R. Sunder, D. Wach, 116 S.	DM	22,40
BMI 1985-082	<b>Konzept einer Datenbank für Signalmuster.</b> Von B. Olma, 36 S.	DM	7,--	BMU 1986-121	<b>Bewertung einer einfachen Möglichkeit der Containmentlüftung.</b> Von K. Hassmann u. a., 146 S.	DM	28,20
BMI 1985-083	<b>Kritikalitätsparameter für Uranyl- und Plutoniumnitratssysteme in Tributylphosphat/Kerosin und Wasser.</b> Von W. Weber, 36 S.	DM	7,--	BMU 1986-122	<b>Anforderungen an elektrische Einrichtungen in KKW's.</b> Von S. Göbner, 186 S.	DM	35,90
BMI 1985-084	<b>Untersuchung zum Verhalten einer offenen Strecke mit dem Rechenprogramm STEALTH.</b> Von B. Baltes u. a., 74 S.	DM	14,30	BMU 1986-123	<b>Bruchmechanische Analysen an geschädigten Rohrleitungen (Degraded Piping Program).</b> Von D. Azodi u. a., 116 S.	DM	22,40
BMI 1985-085	<b>Jodfilter in Kernkraftwerken bei Bränden.</b> Von V. Giraud, 50 S.	DM	9,70	BMU 1986-124	<b>Ursachen für Ausfälle der Stromversorgung des Sicherheitssystems - Teil 1-.</b> Von J. Schweigert, 107 S.	DM	20,60
BMI 1985-086	<b>Gesteuerte Zündung zur Wasserstoffbeherrschung.</b> Von G. Langer u. a., 102 S.	DM	19,70	BMU 1986-125	<b>Technische Konzepte im internationalen Bereich zur Endlagerung radioaktiver Abfälle.</b> Von H. G. Mielke, 54 S.	DM	10,40
BMI 1985-087	<b>Analyse des Werkstoffverhaltens bei der Überlagerung von Kriechen und Ermüden.</b> Von E. Krägeloh u. a., 156 S.	DM	30,10	BMU 1986-126	<b>Rechnerische Analyse von linearen Systemen.</b> Von J. Janczyk u. a., 194 S.	DM	37,40
BMI 1985-088	<b>Rückhaltung radioaktiver Abfälle - Eine Literaturstudie.</b> Von G. Mohiuddin, 108 S.	DM	20,80	BMU 1986-127	<b>Mechanische Belastungen bei unkontrollierter Leistungsexkursion auf Reaktortankeneinheiten SNR-300.</b> Von S. Meier u. a., 131 S.	DM	25,30
BMI 1985-089	<b>Nachrechnung des HDR-Versuchs V 44 mit dem Rechenprogramm RALOC-MOD1/83.</b> Von H. Jahn u. a., 86 S.	DM	16,60	BMU 1986-128	<b>Ra<sup>226</sup> in Wässern und Getränken.</b> Von F. Gium u. a., 37 S.	DM	7,20
BMI 1985-090	<b>Vergleich internationaler Kriterien zur Endlagerung radioaktiver Abfälle.</b> Von H. Mielke, 32 S.	DM	6,20	BMU 1986-129	<b>Besondere Vorkommnisse an leittechnischen Einrichtungen.</b> Von H. Haunhorst u. a., 45 S.	DM	8,70
BMI 1985-091	<b>Bewertungen und Ergebnisse aus Untersuchungen im Hinblick auf die Ausführung des Atomgesetzes.</b> Zusammengestellt durch B. Adomat, 492 S.	DM	94,80	BMU 1986-130	<b>Gemeinsame Erklärung der Vorsitzenden der Groupe Permanente Réacteurs (GPR) und der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) zu sicherheitstechnischen Dokumenten, die im Rahmen der Deutsch-Französischen Kommission für Fragen der Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen (DFK) erstellt wurden.</b> 76 S.	DM	14,70
BMI 1985-092	<b>Erhöhung der Ortsoberdosisleistung auf den Inseln Norddeutschlands.</b> Von H. Bonke, 68 S.	DM	13,10	BMU 1986-131	<b>Veranbarkeit von Regeln und Richtlinien mit leittechnischen Konzeptionen</b> Von S. Göbner, 62 S.	DM	12,--
BMI 1985-093	<b>Anforderungskonzept für einen Simulator der neuen Kernkraftwerksgeneration.</b> Von Simon u. a., 200 S.	DM	38,60	BMU 1986-132	<b>Prüfung strukturdynamischer Analysemethoden auf ihre Anwendbarkeit im Genehmigungsverfahren</b> Neuere Erfahrungen, Erkenntnisse und Tendenzen zum Erdbebenlastfall Von P. Gruner, J. Janczyk, H. Schulz, 110 S.	DM	21,20
BMI 1985-094	<b>Zusammenfassende Bewertung der Kernrückhaltevorrichtung.</b> Von K. Bracht, 94 S.	DM	18,10	BMU 1986-133	<b>Sicherheitsbeurteilung von Kernkraftwerken mit probabilistischen Methoden</b> Von P. A. Gottschalk u. a., 230 S.	DM	44,30
BMI 1985-095	<b>Berechnung lokaler Temperaturverteilungen und ihrer Unsicherheiten in Brennelementen Schneller Brutreaktoren (SNR-300).</b> Von U. Quast u. a., 76 S.	DM	14,70	BMU 1986-134	<b>Möglichkeiten zur Wasserstoffbeseitigung - Phase III</b> Von G. Langer, E. Schimitschka, 114 S.	DM	22,--
BMI 1985-096	<b>Konzept für rechnergestützte Orientierungs- und Prognosehilfen.</b> Von L. Feike u. a., 122 S.	DM	23,50	BMU 1986-135	<b>OLDES - Ein KFÜ-integrierbares System zur Diagnose und Prognose der Strahlenexposition bei erhöhten Emissionen aus kerntechnischen Anlagen</b> Von H. de Witt, H. D. Brenk, K.-P. Kruschel, A. G. Knaup, 262 S.	DM	50,50
BMI 1985-097	<b>Die Auswirkung (Efficacy) diagnostischer Strahlenanwendungen in der Kinderheilkunde.</b> Von H. Fendel u. a., 136 S.	DM	26,20	BMU 1986-136	<b>Transientenanalysen für Leichtwasserreaktoren - Abschlußbericht -</b> Von T. Voggenreiber, W. Frisch, J. P. Weber, R. Gilli, A. Höld, 100 S.	DM	19,30
BMI 1985-098	<b>Ertrüchtigungskonzept zur Verhinderung des Sicherheitsbehälterversagens.</b> Von B. Covelli, 66 S.	DM	12,80	BMU 1986-137	<b>Studie zu Fragestellungen im Zusammenhang mit der Zwischen- und Endlagerung von abgereichertem Uran (Anfall, Menge, Wiederverwendungs- und Entsorgungsmöglichkeiten).</b> Von D. Stahl, Th. Dornieden, O. Mehling, H. Quilmann, W. Schulmeyer, 74 S.	DM	14,30
BMI 1985-099	<b>Filter für kerntechnische Anlagen.</b> Von K. H. Berg u. a., 214 S.	DM	41,30	BMU 1986-138	<b>Untersuchung der Wirksamkeit baulicher Maßnahmen zur Reduzierung der Strahlenexposition in Gebieten mit erhöhter natürlicher Strahlung durch Maßnahme in bestehenden Häusern</b> Von L. Leidner, M. Urban, 84 S.	DM	16,20
BMI 1985-100	<b>Kurzzeitbelastung durch Blowdown-Störfall bei DWR - DAISY-Rechnungen für den 2-F-Bruch im kalten Strang.</b> Von S. Meier u. a., 328 S.	DM	63,20	BMU 1986-139	<b>Temperaturfeldberechnung im Nahbereich eines HAW-Endlagers</b> Von B. Baltes, 42 S.	DM	8,10
BMI 1985-101	<b>Einflüsse höherer Abbrände auf die Wiederaufarbeitung von Uranoxid-Brennelementen aus Leichtwasserreaktoren.</b> Von U. Hesse und W. Thomas, 40 S.	DM	7,70	BMU 1986-140	<b>Analyse und erste Bewertung des Unfallablaufs in Tschernobyl bis zur Leistungsexkursion</b> Von M. Clemente, W. Frisch, S. Langenbuch, J. P. Weber, 120 S.	DM	23,20
BMU 1986-102/1	<b>Ergonomische Folgerungen für den Einsatz von Sichtgeräten in KKWen - Band I -.</b> Von Chr. Eggerdinger u. a., 346 S.	DM	92,60	BMU 1986-141	<b>Untersuchungen zur kontrollierten Entlüftung eines DWR-Sicherheitsbehälters bei schweren Unfällen mit Kernschmelzen</b> Von K. Bracht, M. Tiltmann, 98 S.	DM	18,90
BMU 1986-102/2	<b>Ergonomische Folgerungen für den Einsatz von Sichtgeräten in KKWen - Band II - (Variablen- und Leistungskatalog).</b> Von Dornier System GmbH, 193 S.	DM	37,20	BMU 1986-142	<b>Tätigkeiten der OECD/NEA, der EG und der IAEA auf dem Gebiet der Behandlung radioaktiver Abfälle</b> Von W. Mester, 100 S.	DM	19,30
BMU 1986-102/3	<b>Ergonomische Folgerungen für den Einsatz von Sichtgeräten in KKWen - Band III -.</b> Von Chr. Eggerdinger u. a., 255 S.	DM	49,20				
BMU 1986-103	<b>KKW Cattenom, Stellungnahme zu radiologischen Aspekten und Standortmerkmalen in EDF Studie über Umweltauswirkungen.</b> Von TÜV Rheinland e. V., 49 S.	DM	9,50				
BMU 1986-104	<b>Auswirkungen der flüssigen radioaktiven Ableitungen aus KKW Cattenom.</b> Von DFK, 30 S.	DM	5,80				
BMU 1986-105	<b>Notfallschutzvorsorge im D-F-Grenzgebiet, insbesondere KKW Cattenom.</b> Von DFK, 22 S.	DM	4,30				
BMU 1986-106	<b>Zusammenfassung über Sicherheit der KKW Cattenom (F) und Philippeburg 2 (D).</b> Von DFK, 24 S.	DM	4,70				
BMU 1986-107	<b>Information über Sicherheits- und Notfallschutzmaßnahmen KKW Cattenom.</b>						

BMU 1986-143	Zusammenfassung der Einwirkungen von außen (EVA) zu einer integralen Auslegungsanforderung für kerntechnische Anlagen Von W. Gassert, 548 S.	DM 105,60	BMU 1987-172/2.1	Ermittlung elastischer Grenztragbereiche unter dem Zusatzlastfall Erdbeben Anhang II, Teil I Von F. Buchhardt, W. Mattees, G. Magiera, F. Mathiak, 387 S.	DM 74,60
BMU 1987-144	Die Messung gasförmiger und aerosolgebundener Radioaktivitäten in der Atmosphäre Von J. Postendorfer, A. Reineking, 106 S.	DM 20,50	BMU 1987-172/2.2	Ermittlung elastischer Grenztragbereiche unter dem Zusatzlastfall Erdbeben Anhang II, Teil II Von F. Buchhardt, W. Mattees, G. Magiera, F. Mathiak, 321 S.	DM 61,90
BMU 1987-145	Kernweite probabilistische Brennstabanalyse für einen 1300 MW-Reaktor mit 18x18 Bündelgeometrie Von J. D. Schubert, 92 S.	DM 17,30	BMU 1987-173	Verfahren zur Rückhaltung von gasförmig freigesetztem Tritium in einer Tritium-Anreicherungsanlage Von H. Gutowski, M. Bracha, 118 S.	DM 22,80
BMU 1987-146	Anlagen/Verfahren des Brennstoffkreislaufs/der Entsorgung von U. Holzhauser, W. Mester, H.-G. Mielke, H. Ulenbruck, 192 S.	DM 37,--	BMU 1987-174	SFR – Das Endlager für leicht- und mittelaktive Abfälle in Schweden – Übersicht und vorläufige Erkenntnisse zu sicherheitstechnischen Aspekten während der Betriebsphase – Von H. G. Mielke, 50 S.	DM 9,70
BMU 1987-147	Interpretation des Kernverhaltens beim TMI-2-Unfall mit KESS-2 Von F. Schmidt, G. Bleher, 114 S.	DM 22,--	BMU 1987-175	Auswertungen von Forschungsarbeiten und Untersuchungen auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit für die Ausführung des Atomgesetzes – Band II – Von K. Baumgartel, 728 S.	DM 140,30
BMU 1987-148	Experimentelle Studie über die Anwendung der Schallemissionsanalyse bei der Druckprüfung eines Reaktordruckbehälters Von J. Eisenblätter, 112 S.	DM 21,50	BMU 1988-176	Abschlußbericht zur Forschungsaufgabe „Untersuchung fehlerbehafteter primärkreisumschließender wärmetauschender Komponenten mit Arbeitstemperaturen oberhalb 800° C als Beitrag zum HTR-Sicherheitskonzept“ (SR 343) Von M. Rödig, R. Kwasny, M. Pfaffelhuber, F. Schubert, H. Nickel, 198 S.	DM 38,20
BMU 1987-149	Blutstammzellveränderungen als Indikator einer Strahlenbelastung und ihre prognostische Bedeutung – Bericht für das Zeitraum vom 1. 10. 1980 – 30. 9. 1986 – Von T. M. Fiedner, W. Nothdurft, 34 S.	DM 6,60	BMU 1988-177	Beeinflussung von Fortluftfahnen aus Kernkraftwerken durch Kühltürme und Geländestufen Von U. Nagel, G. Guglior, 535 S.	DM 103,10
BMU 1987-150	Untersuchungen zum Einfluß von Brandprodukten auf die Abscheidung von Radioiod mit Aktivkohlen Von H. Deuber, V. Giraud, 48 S.	DM 9,25	BMU 1988-178	Einfluß des Fehlensprechens von Überstrom-Schutzeinrichtungen auf die Zuverlässigkeit der Versorgung elektrischer Verbraucher Von J. Schweigert, G. Schnürer, 137 S.	DM 26,40
BMU 1987-151	Entwicklung einer Checkliste mit zugehörigem Katalog von Empfehlungen zur ergonomisch optimierten Belegung von Kernkraftwerkswarten Von V. Behrendt, T. Krehbühl, H.-D. Hartlief, H.-R. Mannhaupt, W. Preuß, D. B. Thomas, 366 S.	DM 70,50	BMU 1988-179	Neutronenexpositionsanalyse in Reaktoren Von W. Jacobi, G. Burger, 154 S.	DM 29,70
BMU 1987-152	Entsorgungsstrategien für Sonderabfälle Von H. Brucher, E. Merz, 156 S.	DM 30,10	BMU 1988-180	Beitrag zur Strahlenexposition durch Anlagen des nuklearen Brennstoffkreislaufs und der konventionellen Energietechnik im Normalbetrieb Von H. Bonka, J. Kuppers, H.-G. Horn, 274 S.	DM 52,80
BMU 1987-153	Nutzung und Ertüchtigung eines Verfahrens der Aerogeophysik für Spezialaufgaben des Strahlenschutzes Von H. Lenz, K. P. Sengpiel, 78 S.	DM 15,10	BMU 1988-181	Analysen über den Transfer von Radioiod über den — Luft-Weide-Kuh-Milch-Pfad Von A. Becker, H. Biesold, P. Handge, 63 S.	DM 12,20
BMU 1987-154	Entsorgung tritiumhaltiger Abwässer durch Anreicherung Von H. Gutowski, M. Bracha, 200 S.	DM 38,60	BMU 1988-182	Betriebs- und Störfallverhalten schneller natrumgekühlter Reaktoren Vorausrechnung von Inbetriebsetzungsversuchen des SNR-300 Von G. Bönigke, 114 S.	DM 22,--
BMU 1987-155	Untersuchungen zum Vergleich der Toxizität von radioaktiven Abfällen mit Elementen in einer Erzlagerstätte und im Filterstaub Von H. Biesold, G. Haider, 36 S.	DM 7,--	BMU 1988-183	Untersuchung von Dichtsystemen und dichten Umschließungen zum Transport und zur Lagerung radioaktiver Stoffe – Zwischenbericht 1986 – Von J. Fessel, H. Kowalewski, H.-P. Weise, A. Wenz, T. Wolk, 49 S.	DM 9,50
BMU 1987-156	Möglichkeiten zur Endlagerung von radioaktivem Krypton im Rahmen des deutschen Entsorgungskonzeptes Von A. Kohling, G. Langer, 110 S.	DM 21,20	BMU 1988-184	Sichtung und Bewertung von Unterlagen im Hinblick auf sicherheitstechnisch relevante Probleme und deren Berücksichtigung bei der Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerkes 3. Technischer Bericht Gesichtspunkte zur Weiterentwicklung des Konzeptes der Dichtungsbezeichnung für Kraftwerkskomponenten mit dem Ziel einer Ergänzung der „Sicherheitsstechnischen Regeln des KTA“ Von K.-H. Herter, 170 S.	DM 32,80
BMU 1987-157	Untersuchungen zum Verhalten eines Pfeilers unter Berglast und bei der geothermischen Temperatur mit dem Rechenprogramm STEALTH Von G. M. Mohiuddin, 82 S.	DM 15,90	BMU 1988-185	Die Strahlenbelastung der Arbeitskräfte in deutschen Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren im Jahre 1985 Von H. Urbahn, W. Müller, H. Marx, 227 S.	DM 43,80
BMU 1987-158	Kritikalitätsberechnung von Standardproblemen zur Auflösung von abgebranntem Brennstoff Von W. Weber, B. Gmai, W. Heinicke, 94 S.	DM 18,10	BMU 1988-186	Mathematisch statistische Analyse der radiologischen Berechnungsverfahren – Zusammenfassung – Von E. Wirth, J. Burkhardt, C. Hinterstößer, H. Koehler, C. Leising, P. Lewis, F. Regauer, 42 S.	DM 8,10
BMU 1987-159	Beurteilung des Potentials zur Verhinderung brennbarer H <sub>2</sub> -Gemische bei Unfallbedingungen in LWR's unter Nutzung katalytisch wirkender Metallfolien Von A. K. Chakraborty, K. H. Klatt, R. D. Konrad, H. Wenzl, 92 S.	DM 17,30	BMU 1988-187	Deutsche Precursor-Studie Von W. Frey, H. Hörner, J. v. Linden, G. Rappi, G. Reichart, 134 S.	DM 25,90
BMU 1987-160	Radioökologische Untersuchungen in der Nahrungskette Luft-Boden-Reben-Wein 4. Zwischenbericht Von A. Wagner, 114 S.	DM 22,--	BMU 1988-188	Untersuchungen zu Ereignisabläufen für SWR-Anlagen unter Einbeziehung von Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes am Beispiel des Kernkraftwerkes Krümmel (KKK) Von U. Erlen, W. Nolte, J. v. Linden, H. Weidlich, 52 S.	DM 10,10
BMU 1987-161	Die Auswirkung (Efficacy) diagnostischer Strahlenanwendungen in der Kinderheilkunde – 2. Bericht Von H. Fendel u. a., 230 S.	DM 44,30	BMU 1988-189	Plazentärer Transfer von Calcium und Strontium und ihre Radionuklide Von I. Griebel, F.-E. Stieve, 474 S.	DM 91,30
BMU 1987-162	Unterfuchungen zum Transport von Tritium in der Umwelt Von L. A. König, S. Fark, S. Hempeimann, K.-G. Langguth, G. Pagliosa, D. Papadopoulos, S. Strack, 70 S.	DM 13,50	BMU 1988-190	Das Rechenprogramm TESPA zur probabilistischen Beschreibung des Brennstabverhaltens nach Störfällen Von J. Keusenhoff, 61 S.	DM 11,80
BMU 1987-163	Überwachung der Abgabe luftgetragener Radionuklide aus dem Sekundärkreislauf von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktor 402 S.	DM 77,50	BMU 1988-191	Untersuchungen zu schadenmindernden Maßnahmen – Abschlußbericht – Von K. Bracht, A. K. Chakraborty, G. Herbold, E. Kersting, M. Tiltmann, 109 S.	DM 21,--
BMU 1987-164	Untersuchungen strahleninduzierter Veränderungen der elektrophoretischen Mobilität menschlicher Erythrozyten Von L. Bulkowski-Walkiw, A. Spiegelsberg, W. Bögl, 70 S.	DM 13,50	BMU 1988-192	Sichtung und Bewertung von Unterlagen im Hinblick auf sicherheitstechnisch relevante Probleme und deren Berücksichtigung bei der Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerkes 2. Technischer Bericht Beurteilung des Versagensverhaltens einer Mischschweißnaht mit bruchmechanischen Methoden Von W. Eckert, E. Roos, 86 S.	DM 16,60
BMU 1987-165	Die Messung der Chemilumineszenz von Feststoffen als mögliches Indikator-System zur schnellen Dosisermittlung nach Strahlenunfällen Von A. Hammermaier, E. Reich, W. Bögl, 132 S.	DM 25,50	BMU 1988-193	Körperschallüberwachung in Leichtwasserreaktoren Internationaler Status Von B. J. Olma, B. Schütz, 102 S.	DM 19,70
BMU 1987-166	Serumanalyseenstieg nach Bestrahlung der Speicheldrüse Von R. Hofmann, D. Putal, N. Willich, R. Westhaus, W. Bögl, 92 S.	DM 17,80	BMU 1988-194	Ableitung von Aktivitätsgrenzwerten für schwach radioaktiv kontaminierte Abfälle Von M. K. Müller, D. Kuchels, F. Regauer, E. Wirth, 143 S.	DM 27,60
BMU 1987-167	Bruchmechanische Analysen an betriebsgeschädigten Rohrleitungen Mitwirkung der GRS (SR 271/3) am „Degraded Piping Program“ der USNRC Numerische Simulation der Rißarrestversuche zur Verifizierung des dynamischen J-Integrals Von D. Azodi, 52 S.	DM 10,10	BMU 1988-195	Nasse und trockene Ablagerung radioaktiver Stoffe auf die Vegetation und den Erdboden Von H.-G. Horn, M. Maque, H. Bonka, 270 S.	DM 52,--
BMU 1987-168/1	Der Unfall in dem Kernkraftwerk von Tschernobyl und seine Folgen. Eine für die Expertenkonferenz der IAEA vorbereitete Information (25. – 29. August 1986 in Wien) Teil I. Allgemeines Material Staatskomitee für Nutzung der Kernenergie der UdSSR, 92 S.	DM 17,80	BMU 1988-196	Ingestion von Radiocäsium und Strontium 90 bei Selbst- und Fremdversorgern im 1. Folgejahr nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl als Grundlage für die Ableitung sekundärer Eingriffswerte Von J. Burkhardt, D. Lux, 113 S.	DM 21,80
BMU 1987-168/2	Der Unfall in dem Kernkraftwerk von Tschernobyl und seine Folgen. Eine für die Expertenkonferenz der IAEA vorbereitete Information (25. – 29. August 1986 in Wien) Teil II: Anhänge 1 – 7 Staatskomitee für Nutzung der Kernenergie der UdSSR, 392 S.	DM 75,50	BMU 1988-197	Grundlegende theoretische Betrachtungen zur Kondensation an Aerosolen Von P. Pans, 50 S.	DM 9,70
BMU 1987-169	Das Bersten von Brennstabhüllrohren aus Zirkaloy unter Innendruckbelastung. Eine Auswertung experimentell begründeter Rechenmodelle. Von J. Keusenhoff, 89 S.	DM 17,20	BMU 1988-198	Untersuchung des Transfers von 90Sr, 137Cs, 60Co und 54Mn vom Boden in die Pflanze und der wichtigsten, den Transfer beeinflussenden Bodenparameter Kernforschungsanlage Jülich GmbH, 136 S.	DM 28,20
BMU 1987-170	Unterschiede zwischen amerikanischen und deutschen Endlagerstrategien Von B. Baltes, D. Gründler, U. Holzhauser, H. Mielke, W. Wurtinger, 53 S.	DM 10,30	BMU 1988-199	Description of the MOD2/85 Version of the RALOC/PIFLOC Family Part 2: Physical Modelling of Thermal Hydraulics and Integration Methods Von H. Jahn, E. Hofer, 92 S.	DM 17,80
BMU 1987-171	Untersuchung zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen (Phase 2) Von R. Götz, H. D. Altmeyer, G. Knaup, 535 S.	DM 103,10			
BMU 1987-172	Ermittlung elastischer Grenztragbereiche unter dem Zusatzlastfall Erdbeben Hauptband Von F. Buchhardt, W. Mattees, G. Magiera, F. Mathiak, 141 S.	DM 27,20			
BMU 1987-172/1	Ermittlung elastischer Grenztragbereiche unter dem Zusatzlastfall Erdbeben Anhang I Von F. Buchhardt, W. Mattees, G. Magiera, F. Mathiak, 192 S.	DM 37,--			

BMU 1988-200	Derzeitiger Wissensstand über den Verlauf der Grenze für den Übergang einer Deflagration in eine Detonation (DDT) im Dreistoff-Diagramm Wasser/Luft/Wasserdampf nach Shapiró/Moffette Von F. Mayinger, G. Strube, R. Beauvais, 156 S.	DM	30,10	BMU 1989-225	Vergleichsrechnung (DSP) Nr. 9 „Dynamisches Strukturverhalten einer Rohrleitung mit Rückschlagventil bei Blowdown“ – Vergleichsbericht – Von M. Firnhaber, W. Ch. Müller, 267 S.	DM	51,50
BMU 1988-201	Untersuchungen über die Art der radioaktiven Stoffe, deren Probenahme und Messung bei der Ableitung in Luft aus kerntechnischen Anlagen und beim Umgang mit radioaktiven Stoffen Von I. Winkelmann, K. Vogl, 225 S.	DM	43,40	BMU 1989-226	Maßnahmen zur Reduzierung der Folgen schwerer Unfälle: Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse BfM-geförderter Studien Von K. Bracht, H.-G. Friedrichs, 100 S.	DM	19,30
BMU 1988-202	Bruchausschluß als Nachweis für die HTR-Sicherheit für den Integritätsnachweis des Wasserdampfkreislaufs einer HTR-Stromerzeugungsanlage Von H. Nickel, M. Rödig, M. Pfeifferhuber, J. Klotz, F. Schubert, 122 S.	DM	23,50	BMU 1989-227	Vergleich einer FILOC-M- mit einer FIRAC-Aerosolrechnung zum Störfall Erdbeben mit Lösungsmittelbrand Von G. Weber, J. Huber, 82 S.	DM	15,80
BMU 1988-203	Sichtung und Bewertung von Unterlagen im Hinblick auf sicherheitstechnisch relevante Probleme und deren Berücksichtigung bei der Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerkes 1. Technischer Bericht Grundlagen für eine Zählbruchanalyse im Regelwerk Von U. Eisele, E. Roos, 122 S.	DM	23,50	BMU 1989-228	Studie zur Regelmäßigkeit von Stichprobenkonzepten für die Ultraschallprüfung von Schweißnähten in der Kerntechnik Von W. Oppermann, K. Feltkamp, 154 S.	DM	29,70
BMU 1988-204	Sichtung und Bewertung von Unterlagen im Hinblick auf sicherheitstechnisch relevante Probleme und deren Berücksichtigung bei der Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerkes 5. Technischer Bericht Beitrag zum derzeitigen Kenntnisstand über die dehnungsinduzierte Rißkorrosion in druckführenden Komponenten aus ferritischen Werkstoffen (Schwerpunkt Siedewasserreaktoren) Von P. Deimel, B. Iskluth, D. Blind, 114 S.	DM	22,--	BMU 1989-229	Studie zur Regelmäßigkeit von Stichprobenkonzepten für die Ultraschallprüfung von Schweißnähten in der Kerntechnik Von H.-A. Crostack, K. Brückner, 62 S.	DM	12,--
BMU 1988-205	Modelluntersuchungen zur Ausbreitung künstlicher Radionuklide in der Nordsee Von S. H. Müller-Navarra, E. Mittelstadt, 131 S.	DM	89,--	BMU 1989-230	Beurteilung von DWR-Transienten mit starkem Druckenstieg anhand des ATWS-Falles „Ausfall der Hauptkühlwasserversorgung“ Von W. Frisch, A. Höld, 78 S.	DM	15,10
BMU 1989-206	Neutronendosimetrie in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren Von B. Hofmann, K. Ehlers, 116 S.	DM	22,40	BMU 1989-231	Untersuchung stochastischer Verfahren zur Festlegung von Nachweisgrenzen bei Kernstrahlungsmessungen Von L. Baringhaus, O. Mende, R. Michel, C. D. Wunke, H. Zimmermann, 63 S.	DM	12,20
BMU 1989-207	Anreicherung von Radionukliden in Flaschen bei Normalbetrieb und Störfall von kerntechnischen Anlagen – Jahresbericht 1987 – Von K. Hubel, J. Litzke, I. Pawlack, S. Wolff, A. Jank-Rall, R. Steinacker, H. Gillemeister, 57 S.	DM	11,--	BMU 1989-232	Anwendung des FE-Rechenverfahrens NAMMU auf einen Modellstendort eines Endlagers für radioaktive Abfälle Von P. Bogorinski, J. Larue, 100 S.	DM	48,--
BMU 1989-208	Auswertung der Aufzeichnungen von rechnergestützten Dokumentationssystemen in Kernkraftwerken (SABA) Von U. Anders, W. Burmeister, T. Eckert, R. Flor, G. Glöe, M. May, G. Rabe, 261 S.	DM	50,30	BMU 1989-233	Mitwirkung der GRS am „DEGRADED PIPING PROGRAM“ der USNRC Von D. Azodi, A. Höller, J. Sievers, 212 S.	DM	40,90
BMU 1989-209	Erprobung und Optimierung eines Mutationsmonitoringssystems für den Menschen Von K. Alland, 45 S.	DM	8,70	BMU 1989-234	Studie zum Lastfall Flugzeugabsturz auf Kernkraftwerke (Phase II) Von J. Bauer, P. Foros, R. Schwarz, 309 S.	DM	59,60
BMU 1989-210	Untersuchung von Dichtsystemen und dichten Umschließungen zum Transport und zur Lagerung radioaktiver Stoffe Von H.-P. Weise, K. H. Ecker, J. Fessel, H. Kowalewski, R. Wenz, Th. Wolk, 116 S.	DM	22,40	BMU 1989-235	Organisation des Strahlenschutzes in deutschen Kernkraftwerken Von TÜV Rheinland e.V., 181 S.	DM	34,90
BMU 1989-211	Untersuchungen von Korngrößenverteilungen radioaktiver Stäube an Arbeitsplätzen und an Quellen, die radioaktiven Staub in die Umwelt emittieren, und Ermittlung der Lungenretentionsklasse von radioaktiven chemischen Stoffen durch Laborverfahren NUKEM GmbH, Hanau, 127 S.	DM	24,50	BMU 1989-236	Konzepte zur DV-gestützten Überwachung der Umwelt-radioaktivität im Rahmen des integrierten Maß- und Informationssystems (IMIS) des BMU Von F. Schmidt, 109 S.	DM	21,--
BMU 1989-212	Untersuchungen zum Realismus der Radioökologiemodelle Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, 27 S.	DM	5,20	BMU 1989-237	Sicherheitstechnische Analysen von Rohrleitungen bei Belastungen aus äußeren Einwirkungen und bei unvorhersehbaren Betriebs- und Störfällen Von P. Bachmann, P. Gruner, J. Janczyk, W. Kuntze, 231 S.	DM	55,--
BMU 1989-213	Description of the MOD2/85 Versions of the RALOC/FILOC Family Part 1: Code System including Appendices A and B Von H. Jahn, G. Weber, T. v. Pham, 329 S.	DM	63,40	BMU 1989-238	Erprobung von Meßsystemen zum Auffinden radioaktiver Quellen – Dokumentation der Meßflüge im September 1988 – Von I. Winkelmann, H.-J. Endruat, P. Gesewsky, S. Schuhbeck, M. Schweiger, M. Thomas, 76 S.	DM	14,70
BMU 1989-214	Experimentelle Untersuchung der Sensitivität von Wasserstoff-Wasserdampf-Luft-Gemischen hinsichtlich des Übergangs Deflagration-Detonation Von U. Behrens, G. Langer, M. Stock, I. Wirkner-Bott, 222 S.	DM	42,80	BMU 1989-239	Untersuchung der Organisationsstrukturen von Kernkraftwerken und ihres Zusammenwirkens mit übergeordneten Organisationsstrukturen Teil: Notfallschutzplanung in Kernkraftwerken Von FRASER GmbH, 182 S.	DM	36,--
BMU 1989-215	Sichtung und Bewertung von Unterlagen im Hinblick auf sicherheitstechnisch relevante Probleme und deren Berücksichtigung bei der Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerkes 4. Technischer Bericht Berechnung der Versagensbeanspruchung von Rohren und Behältern mit Längs- und Umfangsfehlern Von K.-H. Herter, 244 S.	DM	47,00	BMU 1989-240	Daten und Informationen zu ausländischen Anlagen im Bereich der Kernbrennstoffversorgung Von W. Mester, 371 S.	DM	72,--
BMU 1989-216	Sichtung und Bewertung von Unterlagen im Hinblick auf sicherheitstechnisch relevante Probleme und deren Berücksichtigung bei der Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerkes 7. Technischer Bericht Beanspruchung des Reaktorsicherheitsbehälters durch Druck und behinderte Wärmedehnung beim Bruch einer Rohrleitung; Vergleich mit dem Regelwerk Von F. Beißwänger, 43 S.	DM	8,30	BMU 1990-241/1	Windkanaluntersuchungen zur Erfassung von Störeinflüssen auf die Ausbreitung radioaktiver Stoffe bei der Freisetzung aus kerntechnischen Anlagen in unmittelbarer Gebäudenähe – Bericht – Von A. K. Schuler, P. Gughör, 204 S.	DM	39,30
BMU 1989-217	Transfer von Ca 137 aus der Nahrung in die Muttermilch Von M. Gall, S. Mahler, E. Wirth, 26 S.	DM	5,00	BMU 1990-241/2	Windkanaluntersuchungen zur Erfassung von Störeinflüssen auf die Ausbreitung radioaktiver Stoffe bei der Freisetzung aus kerntechnischen Anlagen in unmittelbarer Gebäudenähe – Anhang – Von A. K. Schuler, P. Gughör, 386 S.	DM	74,40
BMU 1989-218	Untersuchungen zum Transport von Uranhexafluorid in 48 Y-Behältern mit Uran aus wiederaufgearbeiteten DWR-Brennelementen Von A. Tietze, Th. Keckstein, M. Meßler, B. Wolfertz, 166 S.	DM	32,00	BMU 1990-242	Neutronen-Äquivalentdosismessungsmesser nach dem Einkugelschleifverfahren Von B. Burghardt, M. T. Al-Jarallah, E. Pietsch, 60 S.	DM	11,60
BMU 1989-219	Zuverlässigkeit von Patientenangaben über durchgeführte röntgenologische und nuklearmedizinische Untersuchungen Von B. Grosche, G. Hinz, E.-R. Schwarz, C. Tsavachidis, 100 S.	DM	19,30	BMU 1990-243	Strahlenexposition der Arbeitskräfte und Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Fortluft bei der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Von H. Urbahn, H. Marx, W. Müller, 103 S.	DM	19,90
BMU 1989-220	Ermittlung und Bewertung der Strahlenexposition der Bevölkerung, die durch Inkorporation natürlich radioaktiver Stoffe verursacht wird Von B. Glöbel, 247 S.	DM	47,60	BMU 1990-244	Radioökologische Studien an der Elbe Bundesforschungsanstalt für Fischerei, 230 S.	DM	44,30
BMU 1989-221	Maßnahmen und Planungen zur Überwachung der Umwelt-radioaktivität im Ausland TUV Rheinland e.V., Köln, 90 S.	DM	17,40	BMU 1990-245	Radioökologische Untersuchungen in der Nahrungskette Luft-Boden-Rebe-Wein Teil 2: Abschlußbericht Von A. Wagner, 226 S.	DM	43,60
BMU 1989-222	Strahlenexposition der Bevölkerung infolge der Freigabe von Eisenmetallschrott aus Kernkraftwerken zur schadlosen Verwertung Von R. Götz, R. Graf, A. G. Knaup, 208 S.	DM	40,10	BMU 1990-246	Untersuchung der Organisationsstruktur von Kernkraftwerken und ihres Zusammenwirkens mit übergeordneten Organisationsstrukturen Phase II: Zusammenwirken des Kernkraftwerksbetriebes im Rahmen der übergeordneten Organisationsstrukturen Fraser GmbH, Essen, 301 S.	DM	58,00
BMU 1989-223	Parametervariation zur Ausbreitung einiger ausgewählter Radionuklide in der Geosphäre Von H. v. Maravic, B. Baltes, 56 S.	DM	32,--	BMU 1990-247	Möglichkeiten der Rückführung gereinigter Abgase in einer Wiederaufarbeitungsanlage zur Minimierung der Strahlenexposition in der Umgebung Von M. Winter, J. Döhler, 180 S.	DM	34,70
BMU 1989-224/1	Vergleich dreier Verfahren zur Kr-85-Abtrennung aus einer WA 350 bezüglich der Strahlenbelastung, Band 1 Von Linde AG, Höltingerskreuth, 307 S.	DM	59,20	BMU 1990-248	Zusammenstellung und Bewertung der Methoden zur Beurteilung der thermischen Alterung von kerntechnischen Einrichtungen vor und während ihres Einsatzes in Kernkraftwerken Von F. Kleiner, S. Grobner, 71 S.	DM	13,70
BMU 1989-224/2	Vergleich dreier Verfahren zur Kr-85-Abtrennung aus einer WA 350 bezüglich der Strahlenbelastung, Band 2 Von Linde AG, Höltingerskreuth, 447 S.	DM	86,10	BMU 1990-249	Belastungen auf Systemkomponenten von LWR-Anlagen während Störfalltransienten Von S. Meier, Chr. Müller, H. Bartelsky, 143 S.	DM	27,60
BMU 1989-224/3	Vergleich dreier Verfahren zur Kr-85-Abtrennung aus einer WA 350 bezüglich der Strahlenbelastung, Band 3 Von Linde AG, Höltingerskreuth, 275 S.	DM	53,--	BMU 1990-250	Verhalten der RBMK-1000-Anlage bei Reaktivitätsstörfällen im Teillastbereich – Ergänzende Untersuchungen – Von M. Clemente, S. Langenbuch, 66 S.	DM	12,80
				BMU 1990-251	Auswirkungen schwacher Strahlendosen auf die Entwicklung von Amphibien Von W. J. Klotz, M. Giannetti, M. Gruschwitz, H. Strick, S. Urmetz, 416 S.	DM	80,20
				BMU 1990-252	Auswertung von Ergebnissen aus Untersuchungen und Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit für die Ausführung des Atomgesetzes – Band III – Von K. Baumgärtel, 529 S.	DM	101,90
				BMU 1990-253	Verwertung von Reststoffen aus der Wiederaufarbeitung Von V. Frießel, E. Gidarakos, A. Köhling, G. Langer, R.-E. Schmitt, W. Ullrich, 188 S.	DM	36,20
				BMU 1990-254	Biologische Wirkungen niederenergetischer Elektronen Universität Göttingen, 39 S.	DM	7,60

BMU 1990-255	Untersuchung standortspezifischer Ausbreitungsbedingungen von L. Päsler-Sauer, 105 S.	DM	20,30	BMU 1991-288	Der FIRAC-CODE – seine Anwendbarkeit und Randbedingungen bei der Störfallanalyse von Bränden in einer Wiederaufarbeitungsanlage Von M. Röwekamp, 62 S.	DM	12,60
BMU 1990-256	Praktische Erprobung kapazitiver Dehnungsmeßstreifen zur Messung von Kriechdehnungen bei 530 Grad C bis 600 Grad C Von P. Hofstetter, 96 S.	DM	18,50	BMU 1991-289	Neue Wiederaufarbeitungsprojekte im Ausland – Fortschreibung des Berichtes GRS-A-982 – Von W. Mester, 61 S.	DM	12,40
BMU 1990-257	Anpassung und Erprobung eines Rohrrinnenprüfsystems für den regelfähigen Einsatz bei Rohrsystemen in kerntechnischen Komponenten Von W. Oppermann, G. Kunkel, 123 S.	DM	23,70	BMU 1991-290	Genehmigungspraxis rechnergestützter Leittechnik in deutschen Kernkraftwerken am Beispiel repräsentativer Rechner Von D. Schneeloch, 195 S.	DM	39,70
BMU 1990-258	Handbuch zum Brand- und Explosionsschutz bei der Brennelementfertigung Von TÜV-Bayern: U. Ensinger, B. Köhler GRS: W. Mester, H. G. Rlotte, H. W. Sehrbrock, 356 S.	DM	68,60	BMU 1991-291	Repräsentative Untersuchung zum einwirkenden und regelfähigen Einsatz von Rohrrinnenprüfungen bei der wiederkehrenden Prüfung kerntechnischer Anlagen (Rohrrinnenprüfung) Von G. Kunkel, H. Reck, A. Höfler, W. Oppermann, 99 S.	DM	20,20
BMU 1990-259	Ergänzende Entwicklung und realitätsnahe Erprobung eines neuen Verfahrens zur vollständigen Ultraschallprüfung des Stutzenlochfeldes im Kugelboden von Siedewasserreaktordruckbehältern Von G. Brekow, H. Wüstenberg, A. Erhard, H. Hein (HEWI), 63 S.	DM	12,20	BMU 1991-292	Experimentelle Verifizierung dynamischer Radioökologiemodelle in der Folge von Tschernobyl Von G. Voigt, H. Müller, G. Prühl, H. Stocks, H. G. Paretzke, 75 S.	DM	15,30
BMU 1990-260	Untersuchungen zum Strahlenschutz am Arbeitsplatz des nuklearen Brennstoffkreislaufs Von R. Brandt, P. Vater, 46 S.	DM	8,90	BMU 1991-293	Sicherheitsaspekte bei der Erhöhung des Abbrandes der Brennelemente Von M. Clemente, U. Hesse, K. Hummelshaus, S. Langenbuch, W. Thomas, 96 S.	DM	19,60
BMU 1990-261	Beitrag zur Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre um kerntechnische Anlagen Von Th. Haltingen, H. Bonka, 183 S.	DM	35,30	BMU 1991-294	Abschlußbericht über das Vorhaben „Radioaktivität in Wildtieren“ Von U. Fiehlitz, 43 S.	DM	8,80
BMU 1990-262	Entwicklung, Erprobung und Einsatz von Schnellmeßmethoden zur nuklidenspezifischen Bestimmung atmosphärischer Kontamination Von W. Weiss, M. Zähringer, 118 S.	DM	22,80	BMU 1991-295	Auswertung der Aufzeichnungen von rechnergestützten Dokumentationsystemen in Kernkraftwerken (SABA-2) Von U. Anders, V. Csapo, R. Flor, G. Glöe, R. Westhauer, 150 S.	DM	30,50
BMU 1990-263	Identifizierung und Quantifizierung inkorporierter Radionuklide im menschlichen Körper Von H. C. Heinrich, 37 S.	DM	7,20	BMU 1991-296	Anwendung des Rechencodes ADINA auf einen Cosa II Benchmark Rechenfall des Nahbereiches – Fortschrittsbericht 1990 – Von GRS mbH., Köln, 74 S.	DM	15,10
BMU 1990-264	Untersuchung zur schadlosen Verwertung von Nichtisenmetallen Von R. Götz, R. Graf, A. G. Knaup, 302 S.	DM	58,20	BMU 1991-297	Biologische Indikatoren zum Nachweis von Strahlenbelastungen Von Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, 30 S.	DM	6,10
BMU 1990-265	Abschätzung mittlerer Kaminüberhöhungen für kalte Quellen Von H. Wildermuth, R. Haubelt, 43 S.	DM	8,30	BMU 1991-298	Auswertung von Betriebsbefahrungen über die Zuverlässigkeit von Notstromdieselelektrogeneratoren in deutschen Kernkraftwerken Von M. Maqua, 44 S.	DM	9,--
BMU 1990-266	Langzeitkontrolle von Kindern und Erwachsenen auf Inkorporation als Folge von Tschernobyl Von R. Kunkel, 37 S.	DM	7,20	BMU 1991-299	Entwicklung und praktischer Einsatz von Schnellmethoden zum Nachweis unfallbedingter Umweltkontaminationen Von I. Winkelmann, 34 S.	DM	7,--
BMU 1990-267	Untersuchungen zur Dekontamination urbaner Oberflächen Von H. de Witt, W. Goldammer, H. D. Brenk, 255 S.	DM	49,20	BMU 1991-300	ZYKLUS-II-PC: Ein Rechenmodell für die Verfolgung von Brennstoffmassen im Kernbrennstoffkreislauf – Abschlußbericht – Von U. Hesse, K. Hummelshaus, U. Quade, K. Gewehr, W. Weber, 72 S.	DM	14,70
BMU 1990-268	Auswertung von amerikanischen PRA-Richtlinien zur Bewertung abhängiger Ausfälle (Common Cause Failures) in probabilistischen Sicherheitsanalysen Von H. Schäfer, 74 S.	DM	14,30	BMU 1991-301	Teratogene Strahlenwirkungen: Phänomene, Dosiswirkungsbeziehungen und Risikobereiche Von G. Konermann, 32 S.	DM	6,50
BMU 1990-269	Messung und Beseitigung von Oberflächenkontaminationen Von R. Neider, I. Tamberg, 86 S.	DM	16,60	BMU 1991-302	Sicherheitstechnische Untersuchungen zur Leistungsverteilung in MOX-Brennelementen beim Einsatz in LWR-Kernen Von E. Kramer, S. Langenbuch, 47 S.	DM	9,60
BMU 1990-270	Entwicklung und Anwendung eines Modells zur Berechnung der Verteilung von Radon in Häusern Von B. Haider, E. Papamokos, G. Ferron, J. Peter, L. Unverfarth, 63 S.	DM	12,20	BMU 1991-303	Der Stand des Systems der zentralen Erfassung und Endlagerung radioaktiver Abfälle in der ehemaligen DDR Von E. Beise, H. G. Mielke, W. Müller, U. Oppermann, 47 S.	DM	9,60
BMU 1990-271	Durchführung von Vergleichsrechnungen und Deutschen Standardproblemen Von M. Firnhaber, 53 S.	DM	10,20	BMU 1991-304	Abbrandberechnung mit OREST für Uranoxid-Siedewasserreaktor-Brennelemente Von U. Hesse, 53 S.	DM	10,80
BMU 1990-272	Modellrechnungen für Brände in Wiederaufarbeitungsanlagen und U/Pu-Mischoxid-Brennelementfabriken mit dem Rechenprogramm FIRAC (FIRIN) Von J. Huber, 181 S.	DM	34,90	BMU 1991-305	Betriebs- und Störfallverhalten Schneller Natriumgekühlter Reaktoren Ermittlung der Wirksamkeit der passiven Nachwärmefuhr beim SNR-300 Von G. Bönigke, 146 S.	DM	29,70
BMU 1990-273	Aufnahme und Verteilung von Radioruthenium in Pflanzen für den Expositionsfall Luft/Pflanzen Von H. Wagner, W. Neumann, H. Krumrey, G. Bolz, 71 S.	DM	13,70	BMU 1991-306	Kritikalitätsdaten zu wichtigen bei der Brennelement-Herstellung auftretenden U(5)-Verbindungen und zu MOX(15)-Spaltstoffsysteimen im trockenen und moderierten Zustand Von H. Krug, E. F. Moser, 51 S.	DM	10,40
BMU 1990-274	Freisetzung von Radionukliden bei Störfällen in Anlagen des Brennstoffkreislaufs – Experimentelle Kenntnisse Von W. Thomas, J. Huber, 130 S.	DM	25,10	BMU 1991-307	Optimierungsverfahren bei Zielkonflikten zwischen Sicherheits- und Arbeitsschutzaspekten im Betrieb von Kernkraftwerken Von W. Müller, 79 S.	DM	16,10
BMU 1990-275	Numerisches Rechenprogramm zur Berechnung des Konzentrationsverlaufs von Wasserstoffgas und dessen zeitlicher Veränderung in vertikalen Bohrlöchern zur Einlagerung von warmenentwickelnden MAW-Abfällen und HTR-Brennelementen in Steinsalz Von G. Morlock, 69 S.	DM	13,30	BMU 1991-308	Analyse des Kühlmittelverluststörfalles doppelendiger Abriß einer der beiden wasserseitigen Druckbehälteranschlüsse in der Reaktoranlage Greifswald Block 1 (WWER-440/W-230) mit dem Rechenprogramm ATHLET Von F. Buntzen, M. Hrubisko, 212 S.	DM	43,10
BMU 1990-276	Erprobung von Berylliumoxid-Personendosimetern Von K. Fennig, K. H. Ritzenhoff, J. Stau, 79 S.	DM	15,30	BMU 1991-309	Methoden zur Auswertung von Ausfallraten für probabilistische Untersuchungen zu Kernkraftwerken sowjetischer Bauart Von H. Bartelsky, U. Hauptmanns, J. Peschke, R. Stück, 71 S.	DM	14,50
BMU 1991-277	Untersuchungen zum Einsatz von MOX-Brennelementen Von M. Clemente, S. Langenbuch, 76 S.	DM	15,50	BMU 1991-310	Modellerweiterungen für WWER440/W-213-spezifische Komponenten Von A. Petry, H. Teske, 149 S.	DM	30,30
BMU 1991-278	Studie zur „Sicherheitsqualifikation von Prozeßrechnern beim Einsatz in Sicherheitssystemen von Kernkraftwerken“ Von K. Bertsche, E. Hörmann, 295 S.	DM	60,--	BMU 1991-311	Anwendung der Tieftemperatur- und Filtertechnik für die Rückhaltung von Edelgasen, Aerosolen, Jod und Feststoffen am Beispiel des Abgassystems bei Leichtwasserreaktoren unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen an Sicherheit, Verfügbarkeit und Strahlenschutz Von M. Bracha, H. Gutowski, W. Otto, E. Schröder, M. Wanner, H. Bonka, 213 S.	DM	43,30
BMU 1991-279	Entwicklungs- und Nachweismethoden für die Hard- und Softwarezuverlässigkeit des neu entwickelten Rechnersystems LOKUS – Erfahrungsbericht – Von J. Donth, 197 S.	DM	40,10	BMU 1991-312	Deutsches Standardproblem Nr. 2: Wiederauffüllung und Fluten eines Stabündelbehälters mit simulierten Primärkreisläufen (PKL) – Vergleichsbericht – Von W. Winkler, 300 S.	DM	61,--
BMU 1991-280	Lebensdaueruntersuchungen und Auswertung von Betriebs- erfahrungen im Hinblick auf Schäden an Einbauten und Schäden infolge von Einflüssen aus Dichtungswerkstoffen, Schmier- und Prüfmitteln Von H. Reck, A. Höfler, 150 S.	DM	30,50	BMU 1991-313	Deutsches Standard-Problem Nr. 7: „Verhalten eines Brennstabündels während einer spezifizierten Aufheiz- und Flutperiode – Vergleichsbericht – Von H. Karwat, 78 S.	DM	15,90
BMU 1991-281	Sicherheitsanalyse des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) Von E. Beise, H. Biesold, D. Gründler, P. Handge, F. Lange, J. Larue, H. Mielke, W. Müller, F. Pfeiffer, W. Pfeiffer, W. Wurlinger (GRS), W. Jaritz, D. Meister, H. Schnier (BGR), 245 S.	DM	49,80	BMU 1991-314	Deutsches Standard-Problem Nr. 4A „Dynamisches Strukturverhalten einer Rohrleitung mit Rückschlagventil bei Blowdown“ (HDR-BRV Versuch Nr. 60. 4. 1, Strukturdynamik) – Vergleichsbericht – Von W. Chr. Müller, 204 S.	DM	41,50
BMU 1991-282	Untersuchungen zu Stilllegung und Abbau von Anlagen zur Kernbrennstoffverarbeitung Von H. P. Kapteinaat, B. Alfeldt, I. Auler, P. Schwald, M. Seidler, 207 S.	DM	42,10	BMU 1991-315	Deutsches Standard-Problem Nr. 4A „Dynamisches Strukturverhalten einer Rohrleitung mit Rückschlagventil bei Blowdown“ (HDR-BRV 350 Versuch Nr. 60. 4. 1, Strukturdynamik) – Vergleichsbericht – Anhang 6 und 7 Von W. Chr. Müller, 208 S.	DM	42,30
BMU 1991-283	Anwendung des Rechencodes STEALTH auf ein COSA II Benchmark-Problem Von B. Baltes, T. Beuth, 129 S.	DM	26,30	BMU 1991-316	Deutsches Standardproblem Nr. 8 „Belastung von RDB-Einbauten während schneller Druckentlastungsvorgänge“ – Vergleichsbericht – Von M. Firnhaber, S. Meier, D. Müller-Ecker, B. Schwinges, 91 S.	DM	18,50
BMU 1991-284	Überwachung der Abgabe radioaktiver Stoffe über den Fortluftkamin bei Störfällen und Unfällen in ausländischen Kernkraftwerken Von D. E. Becker, P. Guglior, K.-D. Wünsch, 113 S.	DM	23,--				
BMU 1991-285	Analyse spezieller Sicherheitsfragen bei der thermischen Rezyklierung im Brennstoffkreislauf für Druckwasserreaktoren Von W. Thomas, U. Hesse, 67 S.	DM	13,70				
BMU 1991-286	Kritikalitätsberechnung für kompaktierte Leichtwasserreaktor-Brennstäbe Von W. Heinicke, 31 S.	DM	6,30				
BMU 1991-287	Sicherheitstechnischer Nutzen der probabilistischen Bewertung älterer Kernkraftwerke Von H. Hörtner, K. Köberlein, 59 S.	DM	12,--				



BMU 1991-317	Deutsches Standard-Problem Nr. 6 Dampfleitungsbruch im HDR-Containment mit früher Zweiphaseneinstromung (V-44) – Vergleichsbericht – Von M. Firnhaber, W. Erdmann, 122 S.	DM	24,80	BMU 1992-345	Vergleichende Untersuchungen mit dem Transportmodell KASOMO zum Laugen- und Nuklidtransport im Endlagerberg- werk im Hinblick auf die Sicherheitsanalyse Morsleben Von H. Heidenreich, 59 S.	DM	12,–
BMU 1991-318	Deutsches Standardproblem Nr. 8 „LOBI/MOD2 – Kleines Leck“ – Vergleichsbericht – Von L. Schnepel, M. Firnhaber, 71 S.	DM	14,50	BMU 1992-346	Notwendige Voraussetzungen zur Bildung von Tagesbrüchen in den Gruben des Endlagers für radioaktive Abfälle in Morsleben (ERAM) und Maßnahmen zu deren Vermeidung; Teil 1: Fachband, Teil 2: Bildband Von A. Schandt, C. Schilder, D. Fulda, 127 S.	DM	25,90
BMU 1991-319	Internationale Erfahrung zur Konditionierung abgebrannter Brennelemente Von O. Mehling, P. Ashton, H.-W. Binzel, 225 S.	DM	45,80	BMU 1992-347	22. Technischer Bericht, Versagensanalyse von längsfehler- behafteten Rohren und Behältern Von W. Stoppler, S. M. Shen, A. de Boer, 64 S.	DM	13,10
BMU 1991-320	Erstellung eines dynamischen Modells zur Berechnung der Strahlenexposition über den Wasserpfad bei stehenden Gewässern Von W. Sanger, K. Hübel, 53 S.	DM	10,80	BMU 1992-348	4. Technischer Bericht, Auswertung zum Rohrbogen- verhalten unter betriebsähnlichen Lasten Von H. Diem, 195 S.	DM	39,70
BMU 1991-321	Kernbrennstoffmengen bei der thermischen Rezyklisierung – typische Daten – Von W. Thomas, K. Hummelshausen, 41 S.	DM	8,40	BMU 1992-349	Tierexperimentelle Untersuchungen über die Wirkung inkorporierter radioaktiver und nichtradioaktiver Partikel und deren Synergismus Von K. Wegener, H. Wesch, A. Spierthoff, S. Hornik, 111 S.	DM	22,60
BMU 1991-322	Ergänzende Untersuchungen zu Beanspruchungen in Rohrleitungen bei unterstelltem Fehlverhalten von Stoßbremsen Von P. Bachmann, P. Gruner, U. Honsalek, J. Jonczyk, W. Kuntze, 94 S.	DM	19,20	BMU 1992-350	Sicherheitstechnische Analyse und Bewertung von Blitzschutz- konzepten für kerntechnische Anlagen Von M. Magg, 128 S.	DM	26,10
BMU 1991-323	Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Anlagen auf der Grundlage aktueller Wetterdaten des Standortes Von W. Wildermuth, R. Haubelt, 70 S.	DM	14,30	BMU 1992-351	Effekte kleiner Strahlendosen auf den Stoffwechsel von Knochenmarkzellen, insbesondere auf die Steuerung von Schutzmechanismen Forschungszentrum Jülich GmbH, 31 S.	DM	6,30
BMU 1991-324/1	Genehmigungsrelevante Aspekte der Nachbetriebs- phase kerntechnischer Anlagen – Hauptband – Von R. Götz, R. Graf, S. Kisting, A. G. Knaup, 87 S.	DM	17,70	BMU 1992-352	Ausführung und Beurteilung geeigneter Maßnahmen zur Sanierung von überdurchschnittlich radonbelasteten Häusern Von G. Neroth, 34 S.	DM	7,–
BMU 1991-324/2	Genehmigungsrelevante Aspekte der Nachbetriebs- phase kerntechnischer Anlagen – Anhang A, B, C – Von R. Götz, R. Graf, S. Kisting, A. G. Knaup, 450 S.	DM	91,50	BMU 1992-353	Brandschutztechnische Gegebenheiten von Forschungs- reaktoren und ihre sicherheitstechnische Bewertung Von M. Röwekamp, S. Schwarz, W. Sehnrock, 130 S.	DM	26,50
BMU 1991-324/3	Genehmigungsrelevante Aspekte der Nachbetriebs- phase kerntechnischer Anlagen – Anhang D, E, F – Von R. Götz, R. Graf, S. Kisting, A. G. Knaup, 318 S.	DM	64,70	BMU 1992-354	Gesundheitsrisiken durch Strahlenexposition in den Sudbezirken der ehemaligen DDR Von L. Heinemann, K. Martin, J. Conrad, D. Dahlke, J. Hoeltz, P. Pothoff, R. Lehmann, M. Möhner, R. Stabenow, G. Enderlein, 198 S.	DM	40,30
BMU 1991-325	Sicherheitstechnische Optimierung von Brandschutz- maßnahmen in Kernkraftwerken mit Siedewasserreaktoren Von H. Jahn, H. Liersdorf, H. G. Riote, M. Röwekamp, B. Schwings, W. Sehnrock, L. Sutterlin, W. Sprey, R. Dobbernack, D. Hosser, 223 S.	DM	45,40	BMU 1992-355	Untersuchungen über Möglichkeiten, die Wiederherstellung der körpereigenen Abwehr nach Strahlenschädigung durch thera- peutische Maßnahmen zu beeinflussen Von W. Nothdurft, T. M. Fiedner, K. Baltschukat, L. Kreja, C. Selig, 52 S.	DM	10,60
BMU 1992-326	Untersuchung der Häufigkeit von Krebserkrankungen im Kindesalter in der Umgebung westdeutscher kern- technischer Anlagen Von B. Keller, G. Haaf, P. Kaatsch, J. Michaels, 188 S.	DM	38,30	BMU 1992-356	Rißbildung an ferritischen Schrauben von Frischdampf- isoliationsventilen deutscher Siedewasserreaktoren Von H. Steinmüll, 76 S.	DM	15,50
BMU 1992-327	Grundlagen und Kriterien für die Anwendung eines Proportionalzählers in der Neutronen Personendosimetrie Universität d. Saarlandes, Homburg / Saar, 22 S.	DM	4,50	BMU 1992-357	Effekte kleiner Strahlendosen auf den Stoffwechsel von Knochenmarkzellen, insbesondere auf die Steuerung von Schutzmechanismen Von Forschungszentrum Jülich GmbH, 31 S.	DM	6,30
BMU 1992-328	Der geologische Einfluß des Untergrundes auf die natürliche Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland Von P. Wurster, A. Siehl, 100 S.	DM	20,40	BMU 1992-358	Daten zu kerntechnischen Anlagen und Verfahren des Brennstoff- kreislaufs und der Entsorgung – Fortschreibung des Berichts GRS-A-1259 – Von W. Mester, 185 S.	DM	37,70
BMU 1992-329	Bestimmung der Strahlenbelastung des Menschen nach Hautkontakt mit Radionukliden Von H. G. Pratzel, 114 S.	DM	23,20	BMU 1992-359	Erprobung von Airborne Gammaskopimetrie zur Kartierung von radioaktivem Fallout Von I. Wendt, 61 S.	DM	12,40
BMU 1992-330	Erstellung eines Echtzeit-EDV-Expertensystems zur Abschätzung und Begrenzung radiologischer Konsequenzen in der Bundesrepublik Deutschland von Unfällen kern- technischer Anlagen Von P. Jacob, J. Eklund, J. Gregor, H. Müller, H. G. Paretzke, G. Prohl, M. Richter, R. Stapel, 237 S.	DM	48,20	BMU 1992-360	Experimentelle Untersuchungen zur Dekontamination urbaner Oberflächen „Dekontamination urbaner Oberflächen, Teil B“ vom 1. April 1986 bis 30. Juni 1989 Von G. Pilwat, K. L. Frenkler, R. Hiller, 85 S.	DM	17,30
BMU 1992-331	Meßprogramm der Bundesrepublik Deutschland Ergebnisse der Ganzkörpermessungen in Rußland in der Zeit vom 17. Juni bis 4. Oktober 1991 Von P. Hille, R. Hille, 149 S.	DM	30,30	BMU 1992-361	Das Störfall-Leitsystem CAIRE für Echtzeitanwendungen Von H. D. Brenk, H. Klutwig, H. de Witt, S. Kisting, K. P. Kruschel, A. G. Knaup, 111 S.	DM	22,60
BMU 1992-332	Verwendung von wiederaufgearbeitetem Uran und von angereichertem Uran Von A. R. Neghabian, H. J. Becker, A. Baran, H.-W. Binzel 196 S.	DM	39,90	BMU 1992-362	Thermische Schichtung in Rohrleitungen von Leichtwasser- reaktoren Von Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, 123 S.	DM	25,10
BMU 1992-333	Mechanisches Verhalten von Mikrosteigerungen Von H. Griesinger, H. Werner, 43 S.	DM	8,80	BMU 1993-363	Gutachten zur Funktion und Bindungswirkung von „Grund- normen“ des EURATOM-Vertrages Von G. Ress, 104 S.	DM	21,30
BMU 1992-334	Ermittlung von Überlebensraten für Leukämiepatienten Von B. Breckow, W. Geuer, J. Kvasnicka, 75 S.	DM	15,30	BMU 1993-364	Beitrag zur Tragfähigkeit von Rohrleitungen reduzierter Kerbschlagerarbeit Von H. Kockelmann, A. Klenk, M. Schule, 187 S.	DM	38,20
BMU 1992-335	Teratogene Strahlenwirkungen: Phänomene, Dosiswirkungs- beziehungen und Risikobereiche Von G. Konermann, 36 S.	DM	7,40	BMU 1993-365	Ablagerung von partikelgebundenen Radionukliden bei trockenem Wetter, Nebel, Regen und Schneefall Von D. Oberschachtsiek, H. Sparmacher, R. Kreh, M. Adam, K. Fulber, J. Stegger, H. Bonka, 159 S.	DM	32,40
BMU 1992-336	Berechnung der Neutronendosisleistung von Behälter- anordnungen für das Aktive Handhabungsexperiment AHE Von U. Quade, 78 S.	DM	15,90	BMU 1993-366	Untersuchung zur Alterung bzw. der Lebensdauer von elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems und der Störfallinstrumentierung in kerntechnischen Anlagen unter betrieblichen Einflüssen Von G. Carls, H. Kruse, D. Maichers, G. Müller, K. Ostermann, G. Rabe, F. Reche, W. Rebing, R. Schramm, 114 S.	DM	23,20
BMU 1992-337	Berechnung der Nuklidtransportvorgänge im Laugengefüllten Endlager mit dem Rechencode Marnie Von B. Bailes, K.-J. Rohlig, 47 S.	DM	9,60	BMU 1993-367	Zusammenstellung und Bewertung von Unterlagen zu speziellen Fragestellungen im Hinblick auf die Weiter- entwicklung des kerntechnischen Regelwerkes – 5. Tech. Bericht – Stand zur Spannungsrißkorrosion und dehnungsinduzierter Riß – Von D. Blind, 358 S.	DM	72,90
BMU 1992-338	1. Technischer Bericht – Einfluß der chemischen Zusammenset- zung des Werkstoffs 15 NiCuMoNb 5 auf die mechanisch-techno- logischen Eigenschaften und das Verhalten der Wärmeinfluß- zone von Schweißnähten Von M. Schick, 158 S.	DM	32,20	BMU 1993-368	Aufbau und Erprobung einer Prüfeinrichtung zur zerstörungs- freien Detektion und Beschreibung der Lage und Abmessungen von Fehlern, insbesondere von Rissen in Rohrleitungsschweiß- nähten Von W. Wunsch, 202 S.	DM	41,10
BMU 1992-339	2. Technischer Bericht – Zusammenstellung und Bewertung von Unterlagen zu speziellen Fragestellungen im Hinblick auf die Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerkes – Absicherung gegen Zahnbruch – Von E. Roos, U. Eisele, 163 S.	DM	33,20	BMU 1993-369	Auswertung von Ergebnissen aus Untersuchungen und Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der nuklearen Sicher- heit für die Ausführung des Atomgesetzes Band IV Von K. Baumgartel, 467 S.	DM	95,–
BMU 1992-340	3. Technischer Bericht – Zusammenstellung und Bewertung von Unterlagen zu speziellen Fragestellungen im Hinblick auf die Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerkes – Bewertung des Tragverhaltens von Rohren mit Fehlern – Von K.-H. Herter, X. Schuler, 143 S.	DM	29,10	BMU 1993-370	Vergleichende Betrachtung von Cäsium und Kalium im Boden Von G. Schaller, C. Leising, R. Krestel, E. Wirth, 108 S.	DM	22,–
BMU 1992-341	6. Technischer Bericht – Ausarbeitung zur Frage des Umfangs wiederkehrender zerstörungsfreier Prüfung als Teil des Sicher- heitskonzeptes für den Primärkreis von Druckwasserreaktoren Von H. Waidele, H.-J. Maier, 209 S.	DM	42,50	BMU 1993-371	Radionuklide in der Tiefsee Von G. Kanisch, M. Vobach, 54 S.	DM	11,–
BMU 1992-342	Zum Gastransport in der Nachbetriebsphase eines Endlagers Von V. Javeri, 62 S.	DM	12,60	BMU 1993-372	Beitrag zur Absicherung gegen unzulässige Verformung warm- gehender Komponenten unter überlagerten Sekundär- und Primärspannungen Von A. Schmidt-Plutka, G. Breitbach, F. Schubert, H. Nickel, W. Hennen, J. Kriemle, H. Kreutz, H. Esser, U. Wolf, M. Ottermann, G. Dusterwald, 114 S.	DM	23,20
BMU 1992-343	Bewertung von statistischen Methoden für Untersuchungen zur Langzeitsicherheit von Endlagern Von E. Haler, B. Krzykacz, 75 S.	DM	15,30	BMU 1993-373	Vergleich der Festlegungen in den USA, Frankreich, der Sowjet- union und Deutschland zur Berücksichtigung der Strahlen- versärbung im Sicherheitsnachweis (zu betrachtende Lastfälle, Werkstoffe, Überwachung) Von U. Jendrich, 174 S.	DM	35,40
BMU 1992-344	Untersuchungsbeitrag zur Modellierung des Transports von Salzlauge in Grundwasser Von O.-A. Glimm, 33 S.	DM	6,80				

BMU 1993-374	<b>Automatisierter Meßstand für die Dosimetrie von Betastrahlung</b> Von K.-H. Drake, J. Böhm, 80 S.	DM	16,30	BMU 1994-406	<b>Analysen Human Factor-relevanter Aspekte anhand meldepflichtiger Ereignisse in Kernkraftwerken</b> Von B. Wilpert, M. Freitag, R. Miller, 97 S.	DM	21,80
BMU 1993-375	<b>Auswertung von Ergebnissen aus Untersuchungen und Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Nuklearen Sicherheit für die Ausführung des Atomgesetzes Band V</b> Von G. Hähnel, 457 S.	DM	93,--	BMU 1994-407	<b>Strahlenexposition durch den Umgang mit Reststoffen aus der Kohleverbrennung</b> Von D. E. Becker, O. Mugrauer, K.-H. Lehmann, 215 S.	DM	48,40
BMU 1993-376	<b>Entwicklung einer Programmroutine zur Prognostizierung des thermomechanischen Verhaltens von versetzten Hohlräumen und dessen Umgebung</b> Von Th. Beuth, 98 S.	DM	20,--	BMU 1994-408	<b>Radioaktivität in Wildtieren</b> Von U. Fiehlitz, 137 S.	DM	30,80
BMU 1993-377	<b>Intraval Testfall 13: Nachrechnung einer Versuchsreihe zum Laugentransport in einem porösen Medium</b> Von P. Bogorinski, 49 S.	DM	10,--	BMU 1994-409	<b>Beförderungsaufkommen radioaktiver Stoffe</b> Von G. Schwarz, F. Lange, 45 S.	DM	10,20
BMU 1993-378	<b>Kennwerte zur Überwachung von Verbrennungsanlagen</b> Von H. Behr, W. Kiewel, 155 S.	DM	31,60	BMU 1994-410	<b>Untersuchung von grundsätzlichen sicherheitstechnischen Aspekten bei der Stilllegung kerntechnischer Anlagen, Teil 1: Rechtliche Aspekte und technisches Regelwerk</b> Von S. Thierfeldt, W. Hake, 159 S.	DM	35,80
BMU 1993-379	<b>Automatisierung von Fernhandlung in Uran- und Mox-Brennelementfabriken</b> Von T. Grillenberger, J. Huber, W. Mainka, 113 S.	DM	23,--	BMU 1994-411	<b>Untersuchung von grundsätzlichen sicherheitstechnischen Aspekten bei der Stilllegung kerntechnischer Anlagen, Teil 2: Sicherheitsbetrachtungen und Emissionen</b> Von T. John, S. Thierfeldt, 60 S.	DM	13,50
BMU 1993-380	<b>Entstehung von Überspannungen und ihr Einfluß auf die Stromversorgung redundanter Komponenten des Sicherheitssystems von Kernkraftwerken</b> Von G. Schnurer, 121 S.	DM	24,60	BMU 1994-412	<b>Schleimmissionsmessungen im Rahmen von Laborversuchen an Bauteilen und Proben unter dem Aspekt von Druckprüfungen an Kernkraftwerkskomponenten</b> Von H. Gertkemper, P. Knoch, H.-J. Maier, 167 S.	DM	37,60
BMU 1993-381	<b>Mutationsauslösung in Säugerzellen durch niedrige Dosen ionisierender Strahlung</b> Von J. Kiefer, N. E. A. Crompton, F. König, M. Kohlpöth, T. Kranert, E. Schneider, 155 S.	DM	15,50	BMU 1994-413	<b>Auswertung von Ergebnissen aus Untersuchungen und Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Nuklearen Sicherheit für die Ausführung des Atomgesetzes; Band VI</b> Von G. Hähnel, 388 S.	DM	87,20
BMU 1993-382	<b>Kritikalitätsberechnung moderner Brennelemente und BE-Lagerkonzepte mit SCALE-4</b> Von F. Moser, H. Krug, 37 S.	DM	7,60	BMU 1994-414	<b>Beförderungsaufkommen sonstiger radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland im Anwendungsbereich Forschung, Medizin und Technik</b> Von G. Schwarz, 43 S.	DM	9,70
BMU 1993-383	<b>Überprüfung der Begrenzung der modalen Dämpfung bei der Erdbebenberechnung von Bauwerken</b> Von Stangenberg, Schnellenbach und Partner Gemeinschaft Berater der Ingenieure GmbH, Bochum, 454 S.	DM	92,30	BMU 1995-415	<b>Radongehalt des Trinkwassers in der Bundesrepublik Deutschland und Abschätzung der Strahlenexposition</b> Von H. Rühle, 47 S.	DM	10,60
BMU 1993-384	<b>Radonmessungen im Rahmen der deutsch-deutschen Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Strahlenschutzes</b> Von I. Gans, T. Kahl, H. Rühle, 192 S.	DM	39,10	BMU 1995-416	<b>TOUGH2-Analysen zur Konvektion und Dispersion in porösen Medien</b> Von V. Javeri, 121 S.	DM	27,20
BMU 1993-385	<b>Schwingfestigkeitsuntersuchungen an geschweißten Proben aus austenitischen Stählen im Hinblick auf Lastanschlagspunkte in Kernkraftwerken</b> Von C.-P. Bork, A. Hackbart, H. Wohler, 118 S.	DM	24,--	BMU 1995-417	<b>Sicherheitstechnische Bewertung von F+E-Arbeiten zur direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente und wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle (Schlußbericht zum Vorhaben SR 2013)</b> 25 S.	DM	5,70
BMU 1993-386	<b>Meßtechnische Probleme und verfahrenstechnische Lösungsmöglichkeiten bei der Freigabe von radioaktiven Reststoffen aus stillungsbedingten Gebäudebrissen</b> Von T. John, A. Deckert, S. Thierfeldt, 300 S.	DM	61,--	BMU 1995-418	<b>Der Transport von radioaktiven Stoffen in der ungesättigten Bodenzone – dargestellt anhand physikalisch-chemischer Modellversuche sowie mathematischer Transportmodelle</b> 27 S.	DM	6,10
BMU 1993-387	<b>Beitrag zur Sicherheitsbewertung hochtemperaturbeanspruchter nuklearer Komponenten bei Unterstellung eines Anrisses</b> Von M. Rödig, M. Pfaffelhuber, F. Schubert, H. Nickel, 130 S.	DM	26,50	BMU 1995-419	<b>Deutsche Thorotrast-Studie</b> Von K. Wegener, H. Wesch, A. Dalheimer, S. Hornik, A. Spiethoff, 80 S.	DM	18,--
BMU 1993-388	<b>Orientierende Analysen zum Versuch Thermische Simulation der Streckenlagerung</b> Von V. Javeri, 81 S.	DM	16,50	BMU 1995-420	<b>Strahlenepidemiologische Tabellen</b> Von D. Chmelevsky, E. Nekolia, D. Barclay, 186 S.	DM	41,80
BMU 1993-389	<b>Erarbeitung von Bewertungskriterien für Messungen des Radons und seiner Zerfallsprodukte in Häusern</b> Von J. Peter, 94 S.	DM	19,20	BMU 1995-421	<b>Berechnung von Radionuklidtransportvorgängen im Endlager Morsleben (ERAM)</b> Von B. Baltes, K.-H. Martens, R. Wernicke, 104 S.	DM	23,40
BMU 1993-390	<b>Transfer von I-131 vom Futter in die Milch</b> Von G. Voigt, G. Probstmeier, G. Röhrmoser, 37 S.	DM	7,60	BMU 1995-422	<b>Beförderungsaufkommen radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland – Ergebnisse der Transportdatenerhebung 1986 –</b> Von G. Schwarz, F. Lange, 48 S.	DM	10,80
BMU 1993-391	<b>Neue Leichtwasserreaktor-Konzepte</b> Von W. Frisch, H. Löffler, A. Scharf, 81 S.	DM	16,50	BMU 1995-423	<b>Sicherheitstechnische Fragen im Zusammenhang mit der Stilllegung von Wiederaufbereitungsanlagen Teil 1 – Übersicht über Zerlegetechniken und Aerosolbildung</b> Von A. Kutz, E. Hörmann, H. M. Busch, 155 S.	DM	34,90
BMU 1994-392	<b>Untersuchung der Leistungsfähigkeit und Qualifizierung von Rechenhilfsmitteln für die PSA</b> Von M. Andernacht, S. Dinsmore, 155 S.	DM	32,--	BMU 1995-424	<b>Sicherheitstechnische Fragen im Zusammenhang mit der Stilllegung von Wiederaufbereitungsanlagen Teil 2 – Ermittlung und Bewertung aerosolbezogener Risikopotentiale</b> Von A. Kutz, E. Hörmann, 110 S.	DM	24,80
BMU 1994-393	<b>Strahlenexposition durch konventionelle Beseitigung von Abfällen mit Restaktivität</b> Von A. Deckert, G. Hoppe, T. John, S. Thierfeldt, 189 S.	DM	39,--	BMU 1995-425	<b>SAIS-Kola</b> Von H.-P. Balfanz, C. Fuhrmann, L. Neumann, J. Rumpf, B. Kubintsev, I. Marakulin, V. Shevelev, I. Terekhov, 181 S.	DM	40,70
BMU 1994-394	<b>Teil: Untersuchung zur schadlosen Verwertung von Bauschutt und Gebäudeteilen; Teil: Ermittlung der radiologischen Konsequenzen der schadlosen Verwertung von althaltigem Metallschrott; Sonderpunkte betreffend kontaminiertem Metallschrott</b> Von S. Kistinger, A. Deckert, R. Graf, R. Götz, W. Goldammer, S. Thierfeldt, T. John, 572 S.	DM	117,--	BMU 1995-426	<b>Schnelle Bestimmung von Sr-, Pu- und Tc-Isotopen in Luft durch Lasermassenspektrometrie</b> Von Institut für Physik und Institut für Kernchemie der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz, 30 S.	DM	6,75
BMU 1994-395	<b>Sicherheitsuntersuchungen zur Nachbetriebsphase von Endlagern für radioaktive Abfälle</b> Von B. Baltes, 47 S.	DM	9,60	BMU 1995-427	<b>Sicherheitsanalysen und weiterführende Untersuchungen zum Endlager Morsleben</b> Von B. Baltes, 36 S.	DM	8,10
BMU 1994-396	<b>Geogene Faktoren der Strahlenexposition unter besonderer Berücksichtigung des Radonpotentials</b> Von J. Kemski, R. Klingel, H. Schneiders, A. Siehl, J. Wiegand, 113 S.	DM	23,--	BMU 1995-428	<b>Entscheidungsgrundlagen bei Notfällen in Brennelementfabriken</b> Von W. Thomas, W. Pfeffer, J. Wiesemes, 85 S.	DM	19,10
BMU 1994-397	<b>Meßprogramm der Bundesrepublik Deutschland Ergebnisse der Umweltmessungen in Rußland, Weißrußland und der Ukraine in der Zeit vom 17. Mai bis 2. September 1993 und vom 8. Oktober bis 1. November 1993</b> Von K. Heinemann, R. Hille, 148 S.	DM	33,30	BMU 1995-429	<b>Internationaler Stand und Entwicklung von PSA für KKW</b> Von W. Werner, 153 S.	DM	34,30
BMU 1994-398	<b>Dreidimensionale Analysen mit dem Programmsystem ADINA</b> Von V. Javeri, 65 S.	DM	14,70	BMU 1995-430	<b>Results of International Risk Studies</b> Von W. Werner, 108 S.	DM	24,30
BMU 1994-399	<b>Nutzen und Risiken der Radiojodbehandlung bei Patienten mit Schilddrüsenüberfunktion</b> Von H. Peters, H. Schleusener, 51 S.	DM	11,50	BMU 1995-431	<b>Erarbeitung von Unterlagen im Hinblick auf die Ergänzung und Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerkes 1. Technischer Bericht</b> Erstellung einer Prüfvorschrift zur Ermittlung zählbruchmechanischer Kennwerte für das KTA-Regelwerk Von U. Eisele, 123 S.	DM	27,70
BMU 1994-400	<b>TSS-Analysen mit 3D – ADINA</b> Von V. Javeri, 56 S.	DM	12,60	BMU 1995-432	<b>Erarbeitung von Unterlagen im Hinblick auf die Ergänzung und Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerkes 2. Technischer Bericht</b> Bruchmechanische Bewertung von Rissen in Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren Von U. Eisele, X. Schuler, 281 S.	DM	58,70
BMU 1994-401	<b>Untersuchungen von Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes zur Schadensbegrenzung für LWR</b> Von P. Gruner, P. Eisert, W. M. Kuntze, 63 S.	DM	15,--	BMU 1995-433	<b>Erarbeitung von Unterlagen im Hinblick auf die Ergänzung und Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerkes 3. Technischer Bericht</b> Zusammenstellung und Bewertung von Unterlagen zum „Leck-vor-Bruch“-Verhalten und zu Bruchannahmen bei Rohrleitungen von Leichtwasserreaktor-Anlagen Von K.-H. Herter, 75 S.	DM	16,90
BMU 1994-402	<b>Experimentelle Bestimmung der Langzeitausbreitungsfaktoren durch simultane 14C- und 85Kr-Messungen in der Umgebung der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK)</b> Von I. Levin, H. Sartorius, H. Stockburger, P. Papadopoulos, 71 S.	DM	16,--	BMU 1995-434	<b>Erarbeitung von Unterlagen im Hinblick auf die Ergänzung und Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerkes 4. Technischer Bericht</b> Berücksichtigung des korrosiven Medieneinflusses bei Ermüdungsanalysen in Leichtwasserreaktoren Von F. Hüttner, 71 S.	DM	18,--
BMU 1994-403	<b>Vorschlag zur Erweiterung „Probabilistischer Sicherheitsanalysen“ auf interne Brände in deutschen Nuklearanlagen</b> Von H. Hoffmann, G. Breiling, 69 S.	DM	15,50	BMU 1995-435	<b>Erarbeitung von Unterlagen im Hinblick auf die Ergänzung und Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerkes 5. Technischer Bericht</b> Zerstörungsfreie Prüfung von Plattierungen Von H. Waldele, 68 S.	DM	15,30
BMU 1994-404	<b>Größenverteilung und Konzentration der unangelagerten Radon-Zerfallsprodukte und die Konzentration von Thoron und dessen Zerfallsprodukten in der Raumluft</b> Von J. Porstendörfer, G. Butterweck, A. Reineking, O. Malolepsy, 73 S.	DM	16,40				
BMU 1994-405	<b>Technische Dokumentation anlagenbezogener Informationen</b> Von G. Farber, K.-A. Höpfer, J. Keusenhardt, G. Meinischmidt, U. Riedel, J. Rose, 58 S.	DM	13,10				

BMU 1995-436	<b>Erarbeitung von Unterlagen im Hinblick auf die Ergänzung und Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerkes 6. Technischer Bericht Einfluß ionisierender Strahlung auf das Korrosionsverhalten von austenitischen CrNi-Stählen in LWR-Medien</b> Von F. Hüttner, 68 S.	DM 15,30
BMU 1995-437	<b>Systematische Precursor-Auswertung und -Berichterstattung</b> Von G. Skoff, 118 S.	DM 26,60
BMU 1995-438	<b>Festlegung von Nachweis- und Erkennungsgrenzen</b> Von O. Mende, R. Michel, 59 S.	DM 13,30
BMU 1995-439	<b>Optimierung des Strahlenschutzes in der Nuklearmedizin für Patient und Personal unter Berücksichtigung der Präparation von Radiopharmazeutika mit Generatormukliden</b> Von H. Schicha, K. Schomäcker, 112 S.	DM 25,20
BMU 1995-440/1 BMU 1995-440/2	<b>Analysewerkzeug zur periodischen Sicherheitsüberprüfung von KKW nach den Maßstäben des PSA-Leitfadens</b> Von TÜV-Nord e.V.: H.P. Balfanz, E. Böhme, W. Muekamp, RISA-GmbH: U. Hussels, G. Becker, H. Behr, H. Lüttger, Bd. 440/1 u. Bd. 440/2, zusammen 646 S.	DM 145,20
BMU 1995-441	<b>Konditionierung von Abfällen aus der Wiederaufarbeitung bestrahlter LWR-Brennelemente</b> Von W. Manka, 64 S.	DM 14,40
BMU 1995-442	<b>Bewertung des EU MIRAGE Projektes hinsichtlich zu erwartender Anforderungen für Sicherheitsanalysen</b> Von R. S. Wernicke, 50 S.	DM 11,30
BMU 1995-443	<b>Parameterstudie von Vorgabegrößen am Beispiel des HFCP-Benchmarks aus dem COSA II Projekt</b> Von Th. Beuth, 135 S.	DM 30,40
BMU 1995-444	<b>Beschreibung und Bewertung des diversitären Codes „Bios.“</b> Von A. Becker, H. Biesold, 58 S.	DM 13,10
BMU 1995-445	<b>Fortgeschrittene Ortsdosisleistungsberechnungen mit Monte-Carlo Code MCNP für ein Plutoniumnitrat-Behälterlager</b> Von U. Quade, 96 S.	DM 21,60
BMU 1995-446	<b>Konvektionsrechnungen mit dem Rechenprogramm TOUGH2</b> Von V. Javeri, 82 S.	DM 18,50
BMU 1995-447	<b>Zukünftige Erfordernisse bei der Konditionierung abgebrannter Brennelemente</b> Von A. D. Karpf, E. Hörmann, H. Loser, 166 S.	DM 37,30
BMU 1995-448	<b>Überprüfung des Abfallflußverfolgungs- und Produktkontrollsystems (AVK) und Verbesserungsvorschläge entsprechend der BMU-Abfallrichtlinie</b> Von J. Zech, J. Wimmer, 142 S.	DM 31,90
BMU 1995-449	<b>Auswertung von kritikalitätsrelevanten besonderen Vorkommnissen in Brennelementefabriken</b> Von W. Thomas, 40 S.	DM 9,--
BMU 1995-450	<b>Erfahrungen mit der Stilllegung von Wiederaufarbeitungsanlagen</b> Von W. Mester, 102 S.	DM 23,--
BMU 1995-451	<b>ZYKLUS-III-PC: Erweitertes Rechenmodell für die Verfolgung des Mengenflusses der Kernbrennstoffe im Brennstoffkreislauf</b> Von U. Hesse, K. Hummelsheim, 87 S.	DM 19,60
BMU 1995-452	<b>Rezyklisierung von Mischoxid-Brennstoff bei höheren Abbränden</b> Von K. Hummelsheim, W. Heinicke, W. Thomas, 67 S.	DM 15,10
BMU 1996-453	<b>Brandbekämpfungsmaßnahmen in Handschuhkasten (HSK)</b> Von S. Schwarz, 58 S.	DM 13,10
BMU 1996-454	<b>Analyse der Ursachen von „menschlichem Fehlverhalten“ beim Betrieb von Kernkraftwerken</b> Von TÜV: G. Becker, S. Hoffmann TU BERLIN: B. Wilpert, R. Müller, B. Fahbruch, M. Fank, M. Freitag, H.-G. Giesa, L. Schleifer, 272 S.	DM 61,20
BMU 1996-455	<b>Methoden zur Fehlerfrüherkennung und zur Reduzierung von Strahlenbelastung bei der Überwachung und Prüfung sicherheitstechnisch wichtiger Rohrleitungen</b> Teil: Potentialsonden-Meßtechnik Von H. P. Keller, W. Oppermann, 105 S.	DM 23,60
BMU 1996-456	<b>Methoden zur Fehlerfrüherkennung und zur Reduzierung von Strahlenbelastung bei der Überwachung und Prüfung sicherheitstechnisch wichtiger Rohrleitungen. Fortführung der Untersuchungen zur Potentialsonden-Meßtechnik</b> Von H. P. Keller, W. Oppermann, 72 S.	DM 16,20
BMU 1996-457	<b>Weiterentwicklung der Erfassung und Auswertung von meldepflichtigen Vorkommnissen und sonstigen registrierten Ereignissen beim Betrieb von Kernkraftwerken hinsichtlich menschlichen Fehlverhaltens</b> Von TU BERLIN: B. Wilpert, R. Müller, M. Fank, B. Fahbruch, M. Freitag, H.-G. Giesa, R. Müller TUV RH: G. Becker, 200 S.	DM 45,--
BMU 1996-458	<b>Methoden für probabilistische Analysen des Containmentverhaltens bei schweren Stör- und Unfällen</b> Von H. Löffler, 81 S.	DM 18,20
BMU 1996-459	<b>Vergleichende Auswertung probabilistischer Sicherheitsanalysen im Bereich Personalhandlungen</b> Von O. Sträter, W. Preischl, A. Berning, 46 S.	DM 10,40
BMU 1996-460	<b>Brände und Explosionen in Anlagen der Kernbrennstoffversorgung</b> Von W. Mester, 143 S.	DM 32,20
BMU 1996-461	<b>Berücksichtigung von Nicht-Volllastzuständen in probabilistischen Sicherheitsanalysen für Kernkraftwerke</b> Von H. Wurst, 72 S.	DM 16,20
BMU 1996-462	<b>Vorgehensweise bei der Behandlung von GVA</b> Von U. Hauptmanns, A. Kreuser, J. Peschke, 124 S.	DM 27,90
BMU 1996-463	<b>Berücksichtigung von Modellunsicherheiten in Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen von Rechenmodellergebnissen</b> Von E. Hofer, 44 S.	DM 9,90
BMU 1996-464	<b>Modellhafte Sanierung von radonbelasteten Wohnungen</b> 215 S.	DM 48,40
BMU 1996-465	<b>Internationale Auswertung und Bewertung von PSA</b> Von J. Rumpf, 160 S.	DM 36,--